

MANEJO DE EFLUENTES ORIUNDOS DA
PRODUÇÃO DE
SUÍNOS DA UNIDADE DE ENSINO DE
SUINOCULTURA DA
FAZENDA EXPERIMENTAL RESSACADA - UFSC

HENRIQUE GRACIANO NUNES

2018/1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL

Henrique Graciano Nunes

**MANEJO DE EFLUENTES ORIUNDOS DA PRODUÇÃO DE
SUÍNOS DA UNIDADE DE ENSINO DE SUINOCULTURA DA
FAZENDA EXPERIMENTAL RESSACADA - UFSC**

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso
em Engenharia Sanitária e
Ambiental - TCC II

Orientador: Prof. Paulo Belli Filho,
Dr.

Coorientador: Sebastião Ferreira
Magagnin, Ms.

FLORIANÓPOLIS (SC)
2018

Nunes, Henrique

MANEJO DE EFLUENTES ORIUNDOS DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS DA UNIDADE DE ENSINO DE SUINOCULTURA DA FAZENDA EXPERIMENTAL RESSACADA - UFSC / Henrique Nunes ; orientador, Paulo Belli Filho, coorientador, Sebastião Ferreira Magagnin, 2018. 106 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. dejetos suínos. 3. compostagem. 4. biodigestor. 5. biogás. I. Belli Filho, Paulo. II. Ferreira Magagnin, Sebastião. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**MANEJO DE EFLUENTES ORIUNDOS DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS DA UNIDADE DE ENSINO
DE SUINOCULTURA DA FAZENDA EXPERIMENTAL RESSACADA - UFSC**

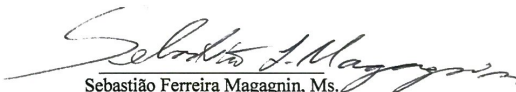
Henrique Graciano Nunes

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental -
TCC II

BANCA EXAMINADORA:



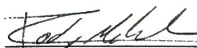
Prof. Paulo Belli Filho, Dr.
Orientador



Sebastião Ferreira Magagnin, Ms.
Co-orientador



Prof. Alexandre Lioi Nascentes, Dr.
Membro da Banca



Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.
Membro da Banca

FLORIANÓPOLIS, (SC)
JUNHO, 2018

Este trabalho é dedicado aos meus
queridos pais, André e Fábria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e minha família por sempre me apoiarem em tudo que faço. Principalmente aos meus pais que me ajudaram em toda minha vida incondicionalmente, sem eles eu não seria nada.

Agradeço aos meus amigos e todas as pessoas que passaram pela vida e me ajudaram de alguma forma a realizar o que realizei e me tornar quem eu sou.

Ao meu co-orientador e coordenador do projeto Sebastião Ferreira Magagnin, ao Matias Oliveira pela grande ajuda nas horas difíceis, ao Pós-doutorando Jorge Tavares, ao produtor de suínos Fernando Esser por me receber em sua unidade de suinocultura e compartilhar sua experiência com tratamento de dejetos suínos e ao professor Paulo Belli Filho.

À UFSC por tudo que me ensinou e todas as oportunidades que me disponibilizou, serei grato eternamente e pretendo retribuir todo esse aprendizado.

“[...] O presente é o único tempo sobre o qual temos domínio. A pessoa mais importante é aquela que está à sua frente. E a coisa mais importante é fazer essa pessoa feliz. ”

(Estória de Tolstoy contada por Nhât Hanh em seu livro, 1976)

RESUMO

O trabalho visou dimensionar o sistema de manejo de efluentes oriundos da produção de suínos da unidade de ensino de suinocultura da fazenda experimental rressacada - UFSC, que será implantada na cidade de Florianópolis. O processo biológico anaeróbio é uma tecnologia reconhecida em vários países para o tratamento de dejetos sendo o biodigestor uma opção de baixo custo para a realidade brasileira. A compostagem é um tipo de tratamento eficaz na geração de um produto altamente nutritivo para agricultura através da degradação aeróbia biológica do efluente líquido da produção de suínos. Os objetivos específicos do presente trabalho são: dimensionar um biodigestor para tratamento de efluentes oriundos exclusivamente da produção de suínos da unidade de ensino de suinocultura da Ressacada; dimensionar uma unidade de compostagem dos efluentes líquidos oriundos do biodigestor e dos sólidos do peneiramento ; estimar a produção de biogás produzido no biodigestor; estimar a produção potencial de energia elétrica a partir do biogás. O trabalho foi realizado a partir de pesquisas bibliográficas na área de estudo, pesquisas de projetos de sistema de tratamento de efluentes suínos já executados, como também foi respeitada a legislação vigente. A unidade terá o total de 60 matrizes, o volume diário de dejetos é de 3 m³ e foi adotado uma carga orgânica volumétrica de 1,5 kg.SV/m³.dia. O sistema possuirá as seguintes unidades: retenção de sólidos por peneiramento, tanque de armazenamento dos dejetos líquidos com transporte bombeado para o biodigestor, terá forma retangular e 12 m³ de volume; biodigestor com 60 m³ de volume útil e tempo de detenção hidráulico de 20 dias, gasômetro de PEAD e altura total de 3,0 metros; tanque de saída e armazenamento do efluente do biodigestor, forma retangular e com 6,6 m³ de volume útil; composteira com 12 metros de largura e 17 metros de comprimento total , 4 leiras de 3 metros cada, sistema de revolvimento e distribuição de efluente mecanizado, tempo de tratamento será de 120 dias, será utilizado serragem como substrato. O biodigestor e a composteira serão alimentados diariamente . O estudo demonstrou a grande importância e viabilidade de dimensionamento deste tipo de projeto.

Palavras-chave: dejetos suínos, digestão anaeróbia, manejo de efluentes, biogás, compostagem, digestão aeróbia, impacto ambiental.

ABSTRACT

The aim of this study was to design an effluent management system from the swine production unit of the swine training unit of the experimental farm - UFSC, which will be implemented in the city of Florianópolis. The biological anaerobic process is a technology recognized in several countries for the secondary treatment of waste and the biodigester is a low cost option for the Brazilian reality. Composting is an effective type of treatment in the generation of a highly nutritious product through biological aerobic degradation of the net effluent from pig production. The specific objectives of the present work are: to design a biodigester for the treatment of effluents originated exclusively from the pig production of the swine breeding unit of Ressacada; designing a composting unit of the liquid effluents from the biodigester, screen solids and sludge from the biodigester; estimate the biogas production produced in the biodigester; estimate the potential production of electricity from biogas. The unit will have a total of 60 matrices, the daily volume of waste will be 3 m³ and an organic volumetric load of 1.5 kg.VS/m³.day will be adopted. The system will have the following units: rotary sieve; tank of arrival of the liquid waste where the swine waste will be pumped for the biodigester, will have rectangular form and 12 m³ of useful volume; biodigester with 60 m³ volume and hydraulic holding time of 20 days, vinimanta gasometer and height of 3,0 meters; biodigester effluent reservoir and outlet, rectangular form and with 6.6 m³ of useful volume; composting plant with 12 meters wide and 14 meters long, 4 lines of 3 meters each, mechanizes system for the revolving and distribution of effluent, treatment time will be 120 days, sawdust will be used as substrate and the compound produced will be used in the same property. The system will be powered daily. The project will be of great importance for the implementation of the swine breeding unit, and FATMA's normative instruction number 11 has always been respected, which explains the guidelines for obtaining the environmental license for this type of activity.

Keywords: swine manure, design, anaerobic digestion, effluent management, biogas, composting, aerobic digestion, environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Aspecto visual dos dejetos produzidos nas granjas de suínos	26
Figura 2: Problemática ambiental associada à suinocultura.....	31
Figura 3: processo de digestão anaeróbia.....	33
Figura 4: Efeito da temperatura da biomassa sobre a produção do biogás.....	39
Figura 5: Produção específica de biogás em função de diferentes taxas de alimentação do biodigestor (kg SV/m ³ de biomassa), para diferentes TDH (22 e 30 dias) e diferentes temperaturas da biomassa (20°C e 35°C).....	40
Figura 6: biodigestores do tipo chinês, filipino e indiano	44
Figura 7: Configurações biodigestor do tipo lagoa anaeróbia coberta.....	45
Figura 8: telas nas canaletas de dejetos.....	46
Figura 9: Peneira estática da Empresa Prominas.....	47
Figura 10: biodigestor após implantação de drenos de lodo, detalhe também para caixa de passagem.....	50
Figura 11: Detalhe do dejetos sob agitação (a), após fechamento do biodigestor (b), início da produção de biogás (c), e com gasômetro completamente cheio de biogás (d).....	51
Figura 12: Dimensionamento da área da manta a ser utilizada por volume de biodigestor	52
Figura 13: Esquema de um biodigestor circular implantado em pequena propriedade	52
Figura 14: Unidade para purificação e compressão do biogás. A) Coletor de umidade; B) Filtro de H ₂ S; C) Espuma; D) Totalizador de gás; E) Compressor de gás.	53
Figura 15: Modelo economizador/gerador de energia elétrica com uso de biogás.....	54
Figura 16 : detalhes de corte transversal de um biodigestor, demonstrando o selo d'água.	54
Figura 17: selo hídrico do biodigestor analisado na pesquisa de Henn (2005).	55
Figura 18: vista do biodigestor, gasômetro e selo hídrico.....	55
Figura 19: unidades de compostagem para o tratamento dos dejetos suínos.....	60
Figura 20: máquina revolvendo a biomassa da leira	61
Figura 21: máquina distribuindo dejetos na leira.	62
Figura 22: localização da unidade de suinocultura.....	65

Figura 23: Planta baixa da unidade de suinocultura.	72
Figura 24: Peneira rotativa descrita por Merkel	74
Figura 25: modelo de flare.....	77
Figura 26: sistema de filtragem do H ₂ S, medidor de volume e compressor de biogás	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Maiores produtores mundiais de carne suína(mil toneladas de carne em carcaça).	23
Tabela 2: Efetivo dos rebanhos por região brasileira (cabeças). 24	
Tabela 3: Efetivo de rebanho das mesorregiões de Santa Catarina (cabeças).	24
Tabela 4: Valores de referência da IN-11 da FATMA para a produção de dejetos suínos de acordo com o sistema produtivo.....	27
Tabela 5: Características físico-químicas dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação observadas na região oeste de Santa Catarina.....	27
Tabela 6: Características físico-químicas dos dejetos brutos	28
Tabela 8: características físico-químicas dos dejetos suínos afluentes, que foram tratados nos biodigestores B1 e B2.	29
Tabela 9: Caracterização físico-química dos dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação.....	29
Tabela 10: equivalência do biogás	38
Tabela 11: Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos classe B. Valores obtidos a partir da amostra seca a 65 C. 63	
Tabela 12: Teores máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.	64
Tabela 13: Parâmetros utilizados no cálculo do dimensionamento do biodigestores	66
Tabela 14: Equações utilizadas para dimensionamento do volume do biodigestor.....	66
Tabela 15: características físico-químicas adotadas.....	67
Tabela 16: eficiências do biodigestor adotadas	68
Tabela 17: Parâmetros adotados para cálculo de produção potencial de metano	68
Tabela 18: parâmetros adotados e referências para cálculo de produção de energia elétrica.	70
Tabela 19: Dimensões do Biodigestor.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
C/N Relação carbono nitrogênio
C/N/P Relação carbono, nitrogênio e fósforo
CC – Ciclo Completo
CH₄ – Metano
CO₂ – Dióxido de carbono
C_v – Carga Orgânica Volumétrica
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations
FATMA – Fundação Meio Ambiente
H₂S – Sulfeto de Hidrogênio
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN – Instrução Normativa
N₂O – Óxido Nitroso
NH₃ – Amônia
NTK Nitrogênio Total Kjeldhal
pH – Potencial Hidrogeniônico
SC – Estado de Santa Catarina
ST – Sólidos Totais
SV – Sólidos Voláteis
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
OD – Oxigênio Dissolvido
P – Fósforo Total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo geral	21
2.2	Objetivos específicos	21
3	JUSTIFICATIVA.....	22
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
4.1	Cenário atual da produção suinocultura brasileira e catarinense.....	23
4.2	Caracterização do dejetos suínos	25
4.2.1	Volume de dejetos produzidos	26
4.2.2	Características físico-químicas	27
4.3	Poluição causada pelos dejetos suínos	30
4.4	Processo de Digestão Anaeróbia	32
4.4.1	Fatores que interferem na digestão anaeróbia	34
4.5	BIOGÁS.....	36
4.5.1	Propriedades do biogás.....	36
4.5.2	Produção de biogás através da digestão anaeróbia de dejetos suínos	38
4.6	Biodigestores.....	42
4.6.1	O uso de biodigestores na suinocultura.....	43
4.6.2	Tratamento Preliminar.....	46
4.6.3	Dimensionamento biodigestor	48
4.7	Compostagem.....	56
4.7.1	Conceito e aspectos gerais	56
4.7.2	Principais variáveis de controle do processo	57
4.7.3	Dimensionamento de composteiras para tratamento de dejetos suínos	59
4.7.4	Legislação referente a qualidade do composto	62
5	METODOLOGIA	65

5.1	Características do projeto.....	65
5.2	Dimensionamento do biodigestor	65
5.3	Cálculo da produção potencial de metano e biogás	68
5.3.1	Cálculo da produção potencial de energia elétrica a partir do biogás	69
5.4	Dimensionamento da unidade de compostagem.....	70
5.4.1	Composteira com aeração mecanizada	70
6	RESULTADOS	72
6.1	Transporte dos dejetos suínos até o sistema de tratamento...	72
6.2	Dimensionamento do biodigestor	73
6.2.1	Peneiramento e Gradeamento	73
6.2.2	Tanque de recepção/armazenamento.....	74
6.2.3	Câmara de fermentação	75
6.2.4	Gasômetro	76
6.2.5	Tanque de reservação/passagem	76
6.2.6	Tubulações.....	76
6.2.7	Queimador do tipo flare	76
6.3	Produção potencial de metano (CH_4) e biogás.....	77
6.3.1	Produção de biogás por kg de Sólidos Voláteis removido	78
6.3.2	Produção potencial de energia elétrica	78
6.3.3	Sistema de filtração e aproveitamento do biogás.	79
6.4	Dimensionamento do Sistema de compostagem com aeração mecanizada.....	80
7	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	82
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

1 INTRODUÇÃO

A produção de carne suína na região sul do Brasil é a maior do país, possuindo quase metade do rebanho nacional. Destaque para Santa Catarina, que possuía um efetivo de pouco menos de 7 milhões de cabeças de suínos em 2015 (IBGE, 2016). Pesquisas mostram que é esperado um aumento do consumo de carne animal em 80 % até 2022 em países de economia emergente, como China, Índia e Brasil (HEINRICH BÖLL FOUNDATION, 2016). De fato, a produção pecuária é uma atividade consolidada na economia mundial, estando enraizada na cultura da maioria dos países, sendo repassada de geração em geração. Além disso, é a principal fonte de renda de muitas famílias no Brasil, destaque para o estado catarinense, onde a grande maioria da produção é realizada por pequenos produtores através de manejo feito pela própria família (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES SUÍNOS, 2015).

Entretanto, esse modelo de produção vem acompanhado de diversos problemas ambientais, onde os ganhos econômicos são maximizados através do aumento da produção em pequenas áreas, sem um tratamento e disposição adequado dos resíduos gerados. No final das contas, os prejuízos ambientais como: poluição dos rios, contaminação do solo, poluição do lençol freático e aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE), não são contabilizados na etapa de produção, sendo que quem paga a conta é toda a comunidade através da perda de riquezas ambientais e diminuição de qualidade de vida (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Os dejetos suínos afetam, quando não manejados corretamente, principalmente a qualidade dos corpos de água, acarretando desequilíbrios ecológicos e poluição, reduzindo o teor de oxigênio dissolvido, aumentando a concentração de amônia, nitratos e aumentando o risco de contaminação por patógenos (GOSMANN, 1997; KONZEN, 1980). Sendo assim, o correto manejo dos dejetos suínos é pauta importantíssima no cenário estadual e nacional, sendo o papel do engenheiro sanitário e ambiental fundamental no processo de melhoramento, implantação e disseminação do conhecimento técnico das práticas de manejo mais eficientes, destacando a importância de implantar técnicas deste tipo na produção pecuária, onde os ganhos ambientais e sociais compensam o investimento inicial mais elevado.

A unidade de ensino de suinocultura na Fazenda experimental da Ressacada - CCA - UFSC exercerá este papel de incentivo ao estudo das técnicas mais eficientes de manejo da produção de suínos, utilizando

uma cultura de permanência e sustentabilidade, que irá tornar os custos ambientais menores para as gerações futuras.

O presente trabalho tem como objetivo propor um sistema de manejo dos efluentes oriundos da produção de suínos, constituído resumidamente de um biodigestor e composteira. Será também estimado a produção de biogás pelo biodigestor e a produção de energia elétrica através da queima do biogás para utilização na propriedade. 6 graduandos estão realizando os seus TCC's com temas vinculados a esta unidade de suinocultura, os graduandos e temas de seus respectivos TCC's seguem abaixo:

- Gioce Alne Girola Berns - Projeto dos sistemas de energia solar para aquecimento de água e bombeamento fotovoltaico em uma unidade de ensino de suinocultura em Florianópolis;
- Natália Julia Guarezi - Projeto dos sistemas prediais de água fria e quente em uma unidade de ensino de suinocultura em Florianópolis;
- Marina Costa Laus - Projeto dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e efluentes em uma unidade de ensino de suinocultura em Florianópolis;
- Bruno Henrique Schappo Santos - Projeto de sistema descentralizado de tratamento de esgoto sanitário de unidade de ensino de produção animal;
- Willy Victor Bonissoni da Silva - recomendações para um plano de gestão integrada de resíduos sólidos na unidade de ensino de suinocultura em Florianópolis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Dimensionar um sistema de tratamento e valorização de efluentes oriundos da produção de suínos da unidade de ensino de suinocultura na Fazenda experimental da Ressacada - CCA - UFSC. O sistema tem como objetivo principal diminuir a emissão de gases do efeito estufa, produzir biogás para conversão em energia elétrica, evitar a contaminação do lençol freático, produzir composto orgânico de alta qualidade para utilização na área agrícola da propriedade ou em algum outro projeto da Universidade e o excedente vender para terceiros.

2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar um biodigestor para tratamento de efluentes oriundos exclusivamente da produção de suínos da unidade de ensino de suinocultura da Ressacada;
- Estimar a produção de biogás produzido no biodigestor;
- Estimar a produção potencial de energia elétrica a partir do biogás;
- Dimensionar uma unidade de compostagem dos efluentes líquidos do biodigestor, resíduos sólidos do peneiramento e lodo excedente do biodigestor.

3 JUSTIFICATIVA

A unidade de ensino de suinocultura na fazenda experimental da Ressacada - CCA - UFSC é um projeto realizado pela Universidade Federal de Santa Catarina. O principal objetivo é transformá-la em um modelo de produção sustentável e que tenha o mínimo de impacto possível, utilizando as melhores tecnologias para minimizar impactos ambientais. Todo o processo de produção foi planejado visando o mínimo desperdício, maior eficiência e menor impacto ambiental. Com isso, ela servirá como base de estudos para os alunos da UFSC.

Tratando-se do manejo dos efluentes da suinocultura, foi escolhido o sistema constituído por um biodigestor seguido de uma composteira. Essa escolha é justificada pelo fato de o biodigestor ser uma ótima opção para tratamento de efluentes de alta carga orgânica e alto potencial poluidor de cursos d'água e solo, além de produzir energia renovável, o biogás (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). A composteira servirá para estabilizar o efluente do biodigestor e produzir um composto sólido orgânico com alto potencial fertilizante de solos para produção vegetal, evitando assim a possibilidade de poluição do lençol freático pelo biofertilizante oriundo do biodigestor (OLIVEIRA et al., 2017).

A unidade também irá respeitar todos os aspectos legislativos, sendo eles federais, estaduais ou municipais. A suinocultura pode ser enquadrada nas seguintes leis e resoluções:

- Código Florestal Federal (Lei Federal nº 4.771/1965 e posteriores alterações);
- Decreto Estadual nº 14.250/1981 (proteção e melhoria da qualidade ambiental);
- Lei Estadual nº 14.675/2009 (Código Estadual do Meio Ambiente);
- Instrução Normativa da FATMA nº 37, de 2008 (criação de animais confinados pequeno, médio e grande porte); e,
- Instrução Normativa da FATMA nº 11, de 2014 (suinocultura).
- Resolução Consema nº 98, de 2017

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cenário atual da produção suinocultura brasileira e catarinense

Segundo os dados brasileiros mais recentes referente à produção animal, o Brasil em 2016 possuía um rebanho médio de 39,950 milhões de suínos (IBGE, 2017). No cenário mundial, o Brasil se destaca como terceiro maior produtor (cerca de 3 milhões e 725 mil toneladas de carne em carcaça por ano) e terceiro maior exportador mundial (786 mil toneladas por ano de carne em carcaça), sendo também o quarto país que mais consome carne suína (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2018).

Tabela 1: Maiores produtores mundiais de carne suína(mil toneladas de carne em carcaça).

PAÍSES	2014	2015	2016	2017
China	56.710	54.870	52.990	53.400
União Européia	22.540	23.249	23.866	23.675
Brasil	3.400	3.519	3.700	3.725
Rússia	2.510	2.615	2.870	2.960

Fonte: USDA, 2018.

Em virtude da grande demanda de carne durante 2017 e expectativa de aumento, a produção de carne dentre vários países está expandindo. A produção mundial tem previsão de aumentar em 2% em 2018, maior elevação dos últimos 5 anos, liderada pela China, Estados Unidos e União Europeia (USDA, 2018).

A produção de carne suína brasileira estava pronta para uma ascensão em 2018, à medida que a economia se recupera da recessão e a demanda interna revigora-se. No entanto, existem alguns desafios a serem enfrentados, como o fechamento do principal mercado de exportação do Brasil, a Rússia, que corresponde a 40% da exportação da carne suína brasileira. Outros fatores são o aumento nos custos da colheita de milho e as consequências contínuas da operação Carne Fraca. Tudo isso acaba gerando incertezas nas exportações e contribui para o declínio dos preços (USDA, 2018).

A Suinocultura no território brasileiro não é uma atividade bem distribuída, havendo regiões com grande produção e consequentemente alta demanda de recursos naturais para o atendimento desta atividade. A região sul do Brasil é a campeã, sendo a maior produtora de suínos do território brasileiro com mais de 19 milhões de cabeças de suínos (IBGE, 2015).

Tabela 2: Efetivo dos rebanhos por região brasileira (cabeças).

REGIÃO	2011	2012	2013	2014	2015
Norte	1.569.553	1.489.219	1.261.870	1.308.154	1.363.355
Sul	19.094.595	19.212.426	17.914.294	18.681.908	19.362.524
Centro-Oeste	5.539.628	5.105.469	5.103.633	5.239.486	6.320.813
Nordeste	6.079.495	5.857.733	5.559.110	5.666.815	5.815.558
Sudeste	7.024.065	7.131.055	6.904.686	7.033.944	6.932.972

Fonte: IBGE, 2015.

Dados do IBGE do ano de 2016, apontam que no estado de Santa Catarina o número total de suínos é de aproximadamente 6 milhões e 900 mil unidades, possuindo a região Oeste do Estado mais de 70% desta quantia.

Tabela 3: Efetivo de rebanho das mesorregiões de Santa Catarina (cabeças).

Mesorregiões de SC	2016
Oeste Catarinense	4.854.034
Norte Catarinense	280.315
Vale do Itajaí Grande	509.438
Florianópolis	10.880
Serrana	221.990
Sul Catarinense	1.010.719

Fonte: IBGE, 2016.

4.2 Caracterização do dejetos suínos

O sistema produtivo suinícola apresenta um resíduo diferente, em geral, dos esgotos industrial e sanitário, apresentando maior concentração de Sólidos Suspensos e DQO, e os outros apresentam a matéria orgânica em sua maioria na forma solúvel e contendo alguns sólidos em suspensão (ANDREADAKIS, 1992, apud HENN, 2005).

Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada na dessedentação, água da limpeza de baias, águas pluviais, água de nebulização, resíduos de ração, pelos, poeiras e outros matérias como sangue os outros resíduos sólidos que por ventura sejam misturados ao efluente na hora do manejo pelos profissionais (KONZEN, 1983; HENN, 2005; BELLI FILHO, 1995; TAVARES, 2008).

Os dejetos suínos possuem coloração escura, variando de tons de cinza, marrom ou preto, na figura 1 é possível visualizar o aspecto físico dos dejetos. As características físico-químicas e biológicas são variáveis, porém, sempre com elevadas concentrações orgânicas. O odor é desagradável e sua consistência varia de líquido ao pastoso, constituído de sólidos em suspensão, sedimentáveis e dissolvidos (BELLI FILHO, 1995 apud HENN, 2005).

Desde o final do século passado, a suinocultura no Brasil utiliza sistema produtivo de animais confinados, cujo manejo diário, somado à limpeza das granjas, resulta na geração de altos volumes de dejetos. Com isso, o surgimento de problemas, no tratamento e destinação ambiental adequada deste dejetos, é inevitável (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998). O manejo inadequado dos resíduos da suinocultura pode causar contaminação dos rios (aplicação exagerada no solo e diretamente nos rios), do ar (emissão de gases de efeito estufa), de lençóis subterrâneos e do solo (aplicação exagerada no solo) (KUNZ, 2005).

Figura 1:Aspecto visual dos dejetos produzidos nas granjas de suínos



Fonte: Souza-Vilas Boas et al (2016), apud Tavares (2016).

4.2.1 Volume de dejetos produzidos

O volume gerado depende muito de vários fatores, como o tipo da criação, edificações da unidade de suinocultura, manejo de água, alimentação, tipo de manejo da produção e bem-estar do animal (BELLI FILHO, 1995). Considerando isso, a quantidade e composição dos dejetos variam em cada propriedade, sendo assim tomadas diferentes medidas de manejo para cada local. Segundo Andreidakis (1992), a produção diária de dejetos suínos é também influenciada pelo tipo e tamanho do animal, temperatura e umidade das edificações.

Na Tabela 4 a seguir, são apresentados os valores de referência da Instrução Normativa número 11 da Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina- FATMA para produção de dejetos suínos de acordo com o sistema produtivo. Esses dados servem de base no processo de Licenciamento da atividade, quanto ao dimensionamento do sistema de tratamento dos efluentes.

Tabela 4: Valores de referência da IN-11 da FATMA para a produção de dejetos suínos de acordo com o sistema produtivo.

Sistema Produtivo	Massa Corporal(kg)	Volume de Dejetos (L/suíno.dia)
Ciclo completo *	---	47,1
Unidade Produção Leitoões*	---	22,8
Unidade Produção Desmamados*	---	16,2
Crechário **	6 -- 28	2,3
Crescimento-Terminação ***	23 -- 120	4,5

* Volume diário de dejetos produzido por matriz alojada;

** Massa corporal: 7,0-25,0 kg; ***Massa corporal:25,0-120,0 kg

Fonte: Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (2014, Anexo 7).

4.2.2 Características físico-químicas

O conhecimento das características dos dejetos dos animais é essencial para o projeto dos sistemas de tratamento e para avaliação das consequências negativas do manejo e da disposição inadequada dos resíduos da produção. As características dos dejetos podem ser expressas em propriedades físicas, químicas e biológicas e, também, serem obtidas por meio de medidas qualitativas e quantitativas (BRASIL, 2016). Na Tabela 5 são apresentadas as características físico-químicas dos dejetos brutos de suínos na fase de crescimento e terminação obtidas através de uma pesquisa realizada em Santa Catarina pelo CNPSA/Embrapa.

Tabela 5: Características físico-químicas dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação observadas na região oeste de Santa Catarina

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média
DQO total (mg/L)	11.530	38.448	25.543
Sólidos Totais (mg/L)	12.697	49.432	22.399
Sólidos Voláteis (mg/L)	8.429	39.024	16.389
Sólidos Fixos (mg/L)	4.268	10.408	6.010

Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	220	850	429
NTK (mg/L)	1.660	3.710	2.374
P total (mg/L)	320	1.180	578
K total (mg/L)	260	1.140	536

Fonte: Silva (1996), apud Henn (2005).

O concentração de nutrientes nos dejetos suínos altera-se dependendo da idade do animal, temperatura, métodos de produção, manejo dos resíduos nas edificações, teor de umidade, ração entre outros (BELLI FILHO, 1995). Os principais componentes com potencial de poluição do meio ambiente são o nitrogênio, fósforo e alguns microminerais como o zinco e cobre (BRASIL, 2016).

Foram analisadas as características físico-químicas dos dejetos suínos de uma unidade de suinocultura de pequeno porte (50 matrizes) de Ciclo Completo em Braço do Norte-SC na pesquisa realizada por Henn (2005). Na tabela 6 estão definidos os resultados obtidos, vale ressaltar que na data de análise já estavam sendo utilizados os bebedouros ecológicos no sistema produtivo, o que influenciou diretamente na diluição dos dejetos brutos (HENN, 2005).

Tabela 6: Características físico-químicas dos dejetos brutos

Parâmetros Analisados	Resultados
pH	6,81
DB05 (mg O ₂ /L)	43.500
DQO (mg O ₂ /L)	105.810
Sólidos Totais (mg/L)	93.153
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	66.956
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	26.197
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	1.000
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	952
Nitrogênio Total Kjeldahl - NTK (mg N/L)	3.248
Fósforo total - P (mg/L)	1.331

Fonte: Henn (2005).

Outra pesquisa relevante e atual na caracterização dos dejetos dos suínos foi realizada por Dal Mago (2009). Foram monitoradas 12 unidades de suinocultura e os biodigestores que tratam os dejetos. Duas delas são de Ciclo Completo e estão localizadas na cidade de Braço do Norte- SC e também vale ressaltar que o Biodigestor B1 possui bebedouros ecológicos no sistema produtivo, ao contrário do biodigestor B2. Os resultados da pesquisa das unidade de suinocultura de ciclo completo de Dal Mago (2009) seguem na tabela 8.

Tabela 7: características físico-químicas dos dejetos suínos afluentes, que foram tratados nos biodigestores B1 e B2.

Parâmetro Analisados	Resultados	
	B1	B2
pH	7,3	7,9
DQO (g/L)	127,05	28,91
Sólidos Totais (g/L)	100	19
Sólidos Totais Voláteis (g/L)	71,42	11,89

Fonte: Dal Mago (2009).

Outra pesquisa recente e de grande importância na área de produção de suínos foi realizada por Tavares (2016), onde foram analisadas 19 granjas ao total, sendo 4 na fase de creche e 15 na fase crescimento-terminação. Os resultados das análises das características físico-químicas dos dejetos seguem na Tabela a seguir.

Tabela 8: Caracterização físico-química dos dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação.

Dejeto	Fase Fisiológica Cr			Fase Fisiológica Ct		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
ST (g/L)	40,9 ± 20,2	74,5	14,9	58,2±14,9	91,8	33,7
SF (g/L)	9,8 ± 3,9	16,9	5,5	14,6±3,3	22,1	9,5
DQO (g/L)	-	-	-	74,8±14,9	111,3	47,7
COT (g/L)	17,1 ± 9,2	30,8	4,5	-	-	-
Nt (g/L)	3,3 ± 1,4	6,2	1,3	5,3±1,1	7,2	3,6

Pt (g/L)	$0,7 \pm 0,3$	1,3	0,3	$1,2 \pm 0,3$	1,8	0,7
K (g/L)	$1,9 \pm 0,8$	3,9	1,1	$2,2 \pm 0,5$	3,6	1,5
Cu (mg/L)	37 ± 19	82	9	31 ± 12	62	11
Zn (mg/L)	303 ± 147	540	43	53 ± 15	90	27
pH	$6,5 \pm 0,1$	6,7	6,4	$7,5 \pm 0,3$	8,2	6,9

Fonte: Tavares, 2016.

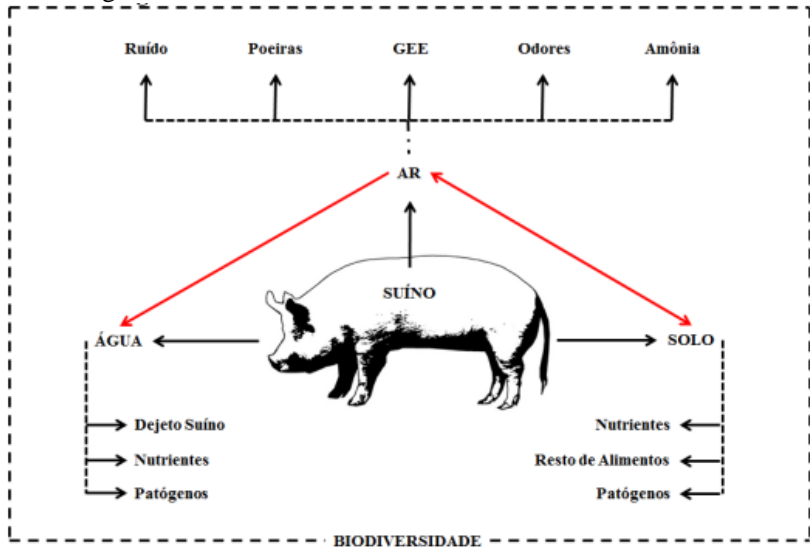
4.3 Poluição causada pelos dejetos suínos

Os dejetos suínos afetam, quando não manejados corretamente, principalmente a qualidade dos corpos de água, acarretando desequilíbrios ecológicos e poluição, reduzindo o teor de oxigênio dissolvido, aumentando a concentração de amônia, nitratos e aumentando o risco de contaminação por patógenos (GOSMANN, 1997; KONZEN, 1980).

Os solos também são poluídos pela distribuição exagerada e desenfreada dos dejetos suínos nos campos de lavoura sem levar em conta aspectos agronômicos e legais, muitas vezes porque o produtor não possui o conhecimento específico e também não há nenhum amparo das autoridades da região (PALHARES; CALIJURI, 2007; KUNZ et al., 2005).

A atmosfera também não fica de fora dos meios poluídos pela produção suinícola, através da emissão de poeiras, odores e gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), amônia (NH_3) entre outros (OLIVEIRA, 1993; BELLI FILHO et al., 2001). Outro impacto é a proliferação de vetores, como moscas e ratos, pois as fezes proporcionam um ambiente ótimo para o desenvolvimento de larvas (HENN, 2005).

Figura 2: Problemática ambiental associada à suinocultura



Fonte: Tavares (2012).

Como mencionado anteriormente, o cuidado com a não contaminação dos corpos d'água é o fator de maior importância, visto que, os mananciais superficiais são muito importantes para o abastecimento público de água urbana e rural. 80% dos recursos hídricos de Santa Catarina estão comprometidos pelo lançamento de efluentes de esgotos urbanos, industriais, criação de animais e agricultura (OLIVEIRA et al.,1993). Esses dados nos mostra o quão grave é a situação atual do estado de Santa Catarina, evidenciando a falta de planejamento de infraestrutura sanitária do Estado, acarretando em grandes custos com tratamento de águas e saúde pública.

Sendo assim, o correto manejo dos dejetos suínos é pauta importantíssima no cenário estadual e nacional, sendo a utilização de processos anaeróbios e de compostagem dos dejetos líquidos solução adequada no sentido de minimizar a poluição e os impactos ambientais provenientes desta atividade, podendo ainda realizar o aproveitamento econômico destes dejetos através da utilização de biogás e composto orgânico.

4.4 Processo de Digestão Anaeróbia

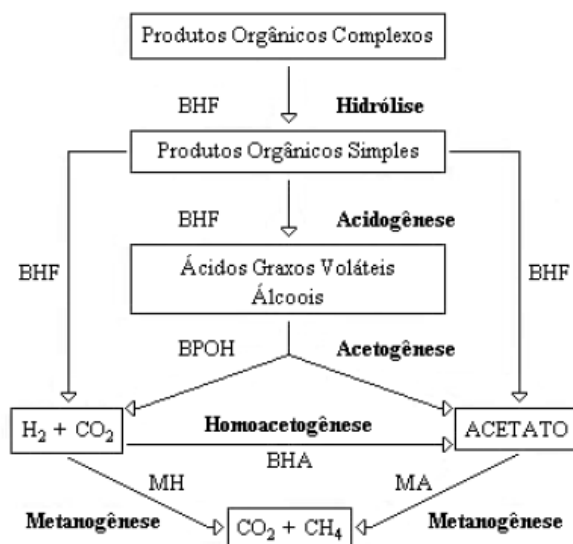
A digestão anaeróbia é um processo biológico o qual é estabelecido apenas na ausência de oxigênio. A anaerobiose é desenvolvida por um grupo de bactérias que é capaz de converter a matéria orgânica, por meio de um número de etapas intermediárias, em dois produtos finais: metano e dióxido de carbono (MALINA JR; POHLAND, 1992), além de traços de outros gases e novas bactérias. A degradação desses microrganismos assegura a energia e os nutrientes necessários para o crescimento e reprodução dos mesmos (CCE, 2000).

O processo de fermentação anaeróbia é constituído basicamente por duas fases: a primeira é uma liquefação ou gaseificação, com a transformação das moléculas orgânicas em ácidos graxos, em sais ou mesmo em gás; na segunda fase há a transformação por outras bactérias destes ácidos, sais ou gases, em metano e outros gases. O equilíbrio dessas duas fases deve ocorrer simultaneamente, porém, se a liquefação ocorre mais rapidamente que a gaseificação, a acumulação de ácidos pode inibir as bactérias metanogênicas e a fermentação é bloqueada. Geralmente as bactérias formadoras de ácidos são mais resistentes e capazes de suportar mudanças bruscas das condições de sobrevivência (LAGRANGE, 1979).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), o processo anaeróbio apresenta algumas vantagens em relação a outras formas de tratamento, dentre elas: baixa produção de lodo biológico; baixa quantidade de energia para o funcionamento; poucos nutrientes requeridos e ainda produz o metano, que é uma fonte potencial de energia.

Os processos anaeróbios são divididos nas quatro etapas seguintes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, que são demonstradas resumidamente na Figura 2.

Figura 3: processo de digestão anaeróbia

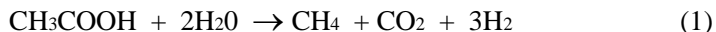


Onde:

BHF - Bactérias Hidrolíticas Fermentativas
 BPOH - Bactérias Produtoras Obrigatórias de Hidrogênio
 BHA - Bactérias Homoacetogênicas
 MH - Metanogêneas Hidrogenotróficas
 MA - Metanogêneas Acetotróficas

Fonte: MAUNOIR (1991), apud BELLI FILHO (1995).

É na última etapa que os compostos produzidos na fase acidogênese são transformados em biogás pelas bactérias anaeróbias estritas. Os substratos que respondem pela formação do metano (principal componente do biogás) são o dióxido de carbono, hidrogênio, ácido acético, ácido fórmico e etanol. O metano é formado através da descarboxilação do ácido acético (processo realizado pelas bactérias metanogênicas acetotróficas) ou pela redução do dióxido de carbono(bactérias metanogênicas hidrogenotróficas), Conforme as equações 1 e 2 a seguir (BELLI FILHO, 1995)



Os principais grupos de bactérias da digestão anaeróbia são as fermentativas, as acetogênicas e as metanogênicas. As bactérias fermentativas são responsáveis pelas duas primeiras etapas do tratamento (hidrólise e acidogênese), e devido à formação de ácidos graxos voláteis, na acidogênese, este grupo de bactérias pode ser chamado de acidogênicas. As bactérias acetogênicas são responsáveis por transformar os compostos da acidogênese em acetato, H_2 e CO_2 . Podem ser produtoras obrigatórias de hidrogênio, ou utilizadoras de hidrogênio. As primeiras promovem a oxidação dos ácidos graxos voláteis, e o segundo produz acetato (além de propionato e butirato), a partir de CO_2 e H_2 . As bactérias metanogênicas finalizam a digestão anaeróbia convertendo o ácido acético e o $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ em metano, que pode ocorrer pela ação das hidrogenotróficas (ou hidrogenotrófilas), utilizando o hidrogênio, ou pelas acetocláticas (ou acetotrófilas), ao utilizarem o ácido acético, controlando o pH (por não deixarem acumular ácido), além disso, produzem CO_2 , que se dissolve no meio, formando uma solução tampão (CCE, 2000).

4.4.1 Fatores que interferem na digestão anaeróbia

Fatores físicos do ambiente como os químicos podem influenciar no crescimento microbiano. A digestão anaeróbia é particularmente suscetível a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação das bactérias fermentativas e metanogênicas. Dessa forma, o sucesso do processo depende de um balanço delicado do sistema ecológico. Atenção especial deve ser direcionada às bactérias metanogênicas, consideradas as mais vulneráveis às mudanças das condições ambientais (CHERNICHARO, 1997).

Nutrientes

Em função da dificuldade de se conhecer a composição exata das células microbianas, seus requisitos nutricionais, geralmente, são determinados com base na composição empírica de uma célula

bacteriana: $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$, onde a participação de nitrogênio e fósforo na composição da biomassa, em peso, é de 12 a 13% e de 2 a 3%, respectivamente (MALINA JR.; POHLAND, 1992). A constituição típica percentual das células bacterianas, em relação à presença de água é de 80%, e de material seco, de 20%. Do material seco, 90% são de material orgânico e 10%, de material inorgânico (METCALF; EDDY, 1991).

Nitrogênio e fósforo, nutrientes essenciais para a digestão anaeróbia, podem ser avaliados se a biomassa é conhecida. Estima-se como requerida, uma relação DQO:N:P variando de 400:7:1 a 1000:7:1, para alta e baixa carga de substrato, respectivamente (MALINA JR.; POHLAND, 1992).

Dejetos agrícolas têm, normalmente, esses nutrientes em quantidades adequadas para a digestão anaeróbia (HOHLFELD; SASSE, 1986; apud HENN, 2005). Nitrogênio e fósforo, geralmente, estão abundantemente presentes e em muitos casos será necessário aplicar um pós-tratamento para adequar o efluente tratado (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Potencial Hidrognênico - pH

As bactérias produtoras de metano têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, embora se possa conseguir estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0. Valores abaixo ou acima desta faixa podem inibir por completo as bactérias formadoras de metano. O pH ótimo depende do tipo de microrganismo envolvido no processo, bem como, do tipo de substrato (CHERNICHARO, 1997).

Temperatura

O crescimento microbiano na digestão anaeróbia é muito influenciado pela temperatura, como os microrganismos não possuem mecanismos para controlar sua temperatura, ela é determinada pela temperatura externa do ambiente (CHERNICHARO, 1997). Três faixas de temperatura estão associadas a este crescimento e METCALF & EDDY (1991) destaca um intervalo ótimo para cada uma dessas faixas de temperatura: (a) psicrófila, de 12 a 18°C; (b) mesófila, de 25 a 40°C; e (c) termófila, de 55 a 65°C.

Dentro de um campo experimental que variou de 5 a 35°C, constatou-se que a atividade metabólica dobra a cada 10 - 15°C de

aumento de temperatura (HAMMER, 1979; apud PIRES, 1999). Uma pesquisada feita por Belli Filho (1995) mostrou que um biodigestor tratando dejetos suínos em temperaturas variáveis, na faixa de 20 a 35°C, possui a atividade metanogênica mais intensa a 35°C.

A melhor faixa de temperatura para a digestão anaeróbia está entre 30 a 40°C; sendo que em temperaturas abaixo de 15°C as bactérias param de produzir metano, interrompendo o processo e gerando subprodutos que originam maus odores (COHEN, 1982).

Segundo VAN HANDEL; LETTINGA (1994), alterações bruscas de temperatura prejudicam a digestão anaeróbia, pois as bactérias metanogênicas são sensíveis à mudança de temperatura. O processo é, portanto, mais atrativo para aplicação em regiões tropicais e subtropicais, onde a temperatura não fica abaixo de 18°C.

Digestores anaeróbios têm sido projetados para trabalhar dentro da faixa mesófila, posto que, é a que combina as melhores condições para o crescimento das bactérias metanogênicas com um menor tempo de retenção da matéria orgânica. A faixa termófila é raramente adotada, pois: (a) as bactérias são mais sensíveis às alterações ambientais; (b) há necessidade de se fornecer um suplemento de energia para aquecer os digestores; e (c) há baixa taxa de produção celular líquida, prolongando o período de partida (NOGUEIRA, 1992).

4.5 BIOGÁS

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se estabelece na falta de oxigênio. Cada vez mais essa tecnologia tem sido buscada, principalmente pelo fato de que a maior parte da carga poluente do efluente é convertida em fonte renovável de energia: o biogás (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006)

4.5.1 Propriedades do biogás

O biogás é uma mistura gasosa e combustível formada através da degradação anaeróbia dos dejetos suínos em biodigestores. Os principais componentes do biogás são o gás metano (CH_4) e o gás carbônico (CO_2). Através de sua pesquisa, Belli Filho (1995) obteve concentrações de 63% para o metano e de 22% para o gás carbônico. Oliveira (2004) constatou em sua pesquisa uma porcentagem de 70% de metano no biogás.

As proporções desses gases dependem da natureza do substrato fermentado. É um gás saturado de água, ou seja, contém umidade, que associada à presença de H_2S e CO_2 se torna altamente corrosivo (LA FARGE, 1995).

O CH_4 , o gás de maior interesse do ponto de vista energético, é um gás inodoro, incolor e facilmente dispersado, que, por ser extremamente inflamável, pode ser queimado para reduzir o efeito estufa por apresentar potencial de aquecimento do globo terrestre 21 vezes maior que o CO_2 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013), ou aproveitado para uso doméstico, em motores de combustão interna, sistemas de geração de energia elétrica ou térmica (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Segundo Hohlfeld; Sasse (1986) apud Henn (2005), o biogás produzido em sistema anaeróbico possui 60 a 70% de CH_4 e 30 a 40% de CO_2 ; e o rendimento do biogás é uma função da relação C/N, bem como, de condições ambientais e operacionais (temperatura, disponibilidade de nutrientes, carga volumétrica, tempo de detenção).

Segundo Oliveira; Higarashi (2006) a presença de vapor d'água, CO_2 e gases corrosivos no biogás *in natura*, constitui-se no principal problema para a viabilização de seu armazenamento e para produção de energia. Equipamentos mais sofisticados, a exemplo de motores a combustão, geradores, bombas e compressores têm vida útil extremamente reduzida. A remoção de água, enxofre e outros elementos presentes no biogás, através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem é imprescindível para a confiabilidade do seu emprego.

De acordo com Lagrange (1979), apud Dal Mago (2009), o biogás com uma concentração de 60% de metano (CH_4) possui um poder calorífico inferior (PCI), de aproximadamente 5.130 kcal/m³. Segundo Zago (2003), o poder calorífico do biogás pode oscilar de 5000 a 6000 kcal/m³, e com capacidade de chegar a 12.000 kcal/m³, quando for retirado o CO_2 . Levando em consideração a pesquisa de Nogueira(1992), o poder calorífico dos biogás depende também do grau de umidade, e diz que o biogás a 70% de metano possui 5.588 kcal/m³ de poder calorífico.

A Tabela 10 mostra a equivalência do biogás, com 70% de metano, a outros combustíveis.

Tabela 9: equivalência do biogás

Equivalência do biogás	
1 m ³ de biogás	0,62 m ³ de gás natural
	0,26 m ³ de propano
	0,20 m ³ de butano
	1,6 kg de lenha
	0,6 L de gasolina
	6,5 kWh de eletricidade

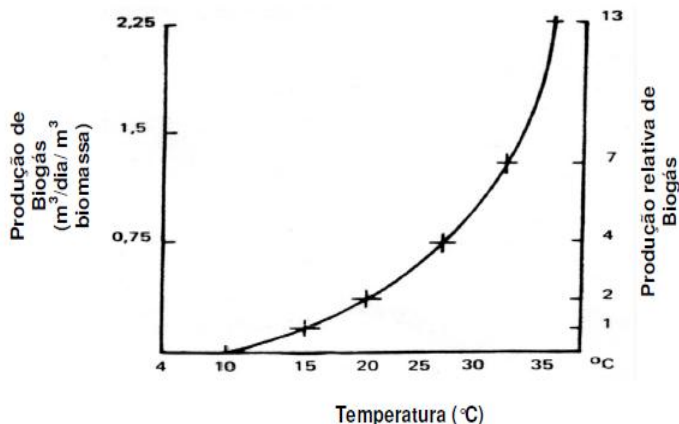
Fonte: Adaptado, CCE (2000), apud Dal Mago (2009).

4.5.2 Produção de biogás através da digestão anaeróbia de dejetos suínos

Segundo Oliveira; Higarashi (2006), nos processos de fermentação convencionais, os quais são mais difundidos, com tempos de detenção hidráulica (TDH) variando de 10 a 30 dias, a produção de biogás varia de 0,25 m³ - 0,65 m³ por m³ de biodigestor por dia.

A faixa de temperatura entre 30° a 37°C é que as bactérias da biometanização melhor fermentam os seus metabólitos, e principalmente as metanogênicas. Em temperatura inferior ocorre uma menor produção de metano, vindo a cessar abaixo de 10°C, situação ilustrada na figura 4 abaixo (OLIVEIRA, 2004).

Figura 4: Efeito da temperatura da biomassa sobre a produção do biogás



Fonte: OLIVEIRA (2004).

Segundo dados do CCE (2000), em sistemas de criação de ciclo completo, a produção diária de biogás é de 0,866 m³ por animal por dia, em relação a sólidos voláteis, esse valor é de 0,45 m³ de biogás por kg de sólidos voláteis (SV).

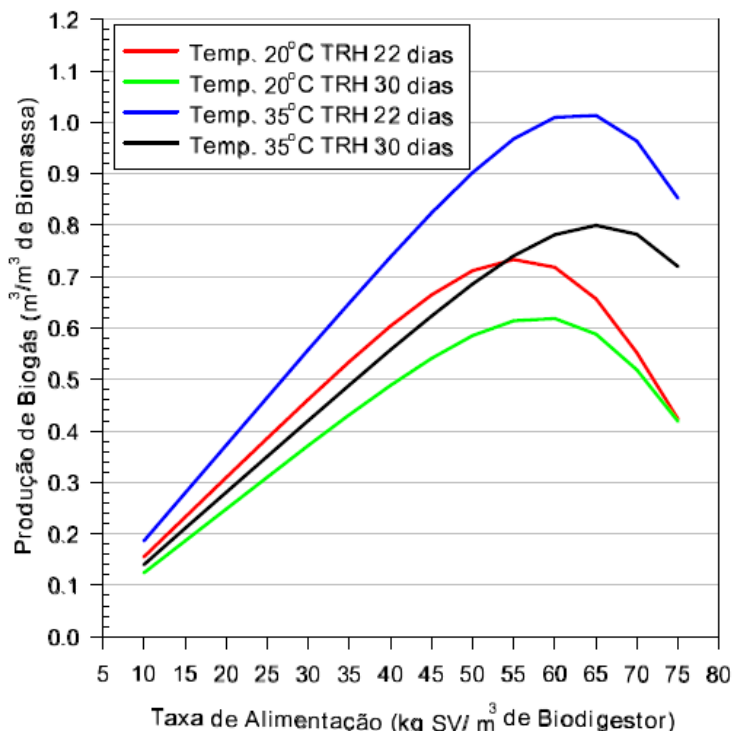
Segundo La Farge (1995), apud Dal Mago (2009), para os dejetos suínos a produção específica é 0,45 m³ de biogás para cada 1 kg de Sólidos Voláteis removidos (0,45 m³/ kg SV). Para Metcalf; Eddy (2003), a produção de biogás por Kg de SV removida fica entre 0,75 e 1,12 m³ (0,75-1,12 m³ Biogás/kg SV removido)

Dal Mago (2009), através da análise de um biodigestor utilizado em uma unidade de suinocultura do tipo ciclo completo, obteve o valor médio de 0,69 m³ biogás/ kg SVremovido (considerando três análises : verão, inverno e primavera).

Gusmão (2008), obteve um valor de $0,67 \pm 0,42$ m³ Biogás/ kg SV removido, também em um sistema de criação de ciclo completo.

Oliveira; Higarashi (2006), utilizaram o modelo matemático desenvolvido por Chen (1983) para estimar a produção de biogás. Foram utilizadas diferentes concentrações de alimentação de sólidos voláteis, temperatura e tempo de retenção hidráulica. O resultado segue na Figura 5 a seguir.

Figura 5: Produção específica de biogás em função de diferentes taxas de alimentação do biodigestor ($\text{kg SV}/\text{m}^3$ de biomassa), para diferentes TDH (22 e 30 dias) e diferentes temperaturas da biomassa (20°C e 35°C).



Fonte: Oliveira; Higarashi (2006).

Segundo a pesquisa realizada, para se aumentar a produção diária de biogás, o biodigestor instalado em um sistema de produção de suínos, deve ser alimentado com uma carga diária de Sólidos Voláteis entre 55 e 65 kg por m^3 de biomassa existente no biodigestor, definir TDH para 22 dias e equilibrar a temperatura da biomassa a 35°C (OLIVEIRA;HIGARASHI,2006). Oliveira (2005) ressalta ainda que a concentração de Sólidos Totais deve variar entre 8 e 10%, pois concentrações muito elevadas podem causar entupimentos nas instalações do biodigestor.

Segundo Zago (2003), que avaliou o potencial de produção de energia através do biogás integrada na região do meio oeste catarinense, concluiu que o consumo médio de energia nas propriedades é de 600 a 1800 kWh/mês. Tomando como base uma produção de suínos que gere 50m³ de biogás/dia, o que vale teoricamente a aproximadamente 2.160 kWh/mês, é possível que estas propriedades sejam auto-suficientes em energia elétrica.

Estimativa da produção de metano a partir da concentração de SV no substrato

Os Sólidos Voláteis, por definição, são o resultado da subtração entre os sólidos totais e os sólidos fixos, ou seja, todas substancias que se volatilizaram após a calcinação no fornomufla (SABESP, 1999).

A sequência abaixo apresenta as equações necessárias para a estimativa da produção de metano (CH₄) em determinada câmara de biodigestão em função da concentração de SV (CHEN; HASHIMOTO, 1978 apud NISHIMURA, 2009).

$$P = \left(\frac{Bo \times SVo}{TDH} \right) \times \left[1 - \left(\frac{K}{TDH \times \mu m - 1 + K} \right) \right] \quad (3)$$

Onde,

P: taxa de produção de metano (m³ de CH₄/ m³ da câmara de digestão/dia);

Bo: taxa máxima de produção de metano (m³ CH₄/kg SV);

SVo: concentração de SV do efluente (kg.m³);

TDH: tempo de detenção hidráulica (d);

μm : taxa de crescimento máximo específico (d⁻¹);

k: coeficiente cinético (adimensional).

De acordo com os mesmos autores, o parâmetro k e a taxa de crescimento máximo específico para dejetos suínos são dados pelas equações 4 e 5.

$$k = 0,5 + 0,0043 \times e^{0,051 \times SVo} \quad (4)$$

$$\mu m = 0,013 \times T - 0,129 \quad (5)$$

4.6 Biodigestores

Os biodigestores rurais no Brasil tiveram um amplo desenvolvimento na década de 80, através do incentivo do Ministério da Agricultura Minas e Energia. Foram construídos cerca de 8000 biodigestores até 1998, dos tipos indiano e chinês. No entanto, por falta de instrução técnica e apoio financeiro, a tecnologia não obteve propagação (ANDRADE et al., 2002).

Os biodigestores tem ganhado um importante destaque devido aos aspectos de saneamento e energia, sem falar da reciclagem dos nutrientes. Através da utilização de biodigestores, é possível a geração de uma alternativa renovável de energia, diminuindo a dependência de fontes de energia poluidoras (lenha, carvão) e melhorando a qualidade do ar com a minimização de emissões de gases de efeito estufa (OLIVEIRA et al., 2003).

Vale também ressaltar, que mesmo esta ser uma alternativa excelente para manejo dos dejetos suínos, o efluente do biodigestor (biofertilizante) não pode ser descartado diretamente nos corpos d'água por ainda apresentar um alto potencial de poluição, devendo este líquido passar ainda por um tratamento final ou ser um substituinte dos fertilizantes inorgânicos às plantas e para manutenção do solo (SEGANFREDO, 2008).

Agora no início do século XXI, os biodigestores ressurgem como alternativa ao suinocultor, em virtude da disponibilidade de novos materiais para a construção dos biodigestores, da maior dependência de energia das propriedades em função do aumento da escala de produção, dos problemas recentes de fornecimento de energia elétrica, do aumento dos custos da energia tradicional. A utilização das mantas plásticas na construção dos biodigestores consiste no principal fator responsável pelo barateamento dos investimentos de implantação e da sua disseminação (Oliveira; Higarashi, 2006).

Biodigestores podem operar em modo contínuo, onde são alimentados com mesma frequência que é retirado o produto decomposto (ou estabilizado), ou em batelada, que é alimentado apenas uma vez, sendo descarregado quando for determinado a finalização do processo de produção de biogás e chegada a eficiência requerida (NOGUEIRA, 1986).

Um alto desempenho de um biodigestor em matéria de produção do biogás é influenciado, principalmente, pela concentração de sólidos voláteis existentes, os quais são responsáveis pela produção de biogás, sendo que quanto maior a concentração na alimentação diária do biodigestor (kg/m^3), maior será a capacidade de produção do biogás, respeitando a máxima taxa possível de produção, como é mostrado na Figura 5 (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). Os ácidos orgânicos voláteis, que são produtos de parte da degradação dos sólidos voláteis, são o substrato das bactérias metanogênicas e representam, aproximadamente, 70 a 75% dos Sólidos Totais, nos dejetos de suínos. Quanto maior a quantidade de Sólidos Totais nos dejetos, menor será o grau de diluição e maior será a concentração de SV (LA FARGE, 1995; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

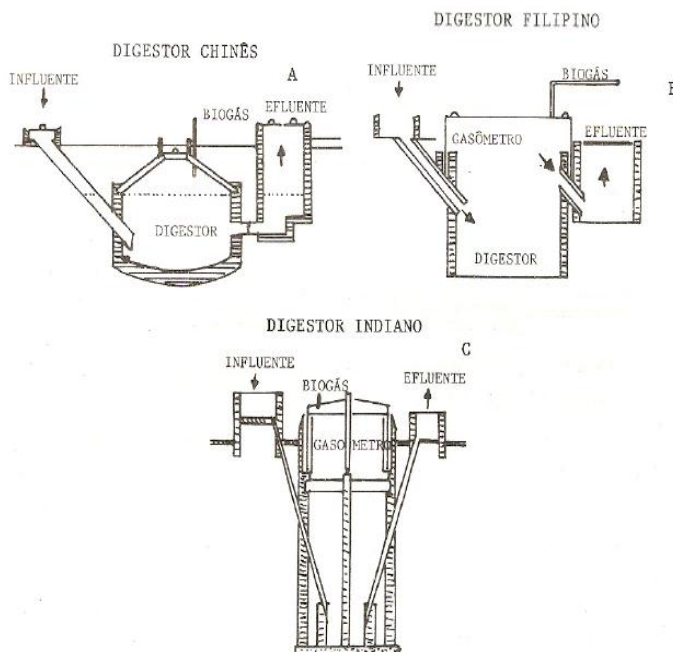
Cada carga aplicada requer um tempo de detenção hidráulica entre 30 e 50 dias (dependendo das variações climáticas), sendo que o volume do biodigestor é projetado em função do volume de dejetos produzidos diariamente e do tempo de detenção hidráulica adotado (OLIVEIRA, 2004). A IN 11 da FATMA recomenda um TDH entre 20 e 30 dias. Porém, na maioria dos biodigestores projetados no Brasil o TDH adotado para dejetos de suínos fica entre 22 e 30 dias (OLIVEIRA, 2005), sendo essa faixa também recomendada por Nogueira (1986) apud HENN (2005) para digestores contínuos.

4.6.1 O uso de biodigestores na suinocultura

A utilização de biodigestores vem sendo cada vez mais difundida no mundo inteiro, principalmente para o tratamento de dejetos suínos, motivada pela opção de geração de energia, diminuição de odores, alto teor de matéria orgânica nos dejetos, facilidade e baixo custo (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). Na Índia os biodigestores estão presentes em mais de 50.000 propriedades suinícolas, no entanto, a China largou na frente com o desenvolvimento da tecnologia, possuindo cerca de 8 milhões de unidades no país (MASSOTTI, 2002).

No Brasil, os primeiros biodigestores implantados foram dos tipos chinês, filipino e indiano, os quais foram amplamente utilizados em propriedades rurais de pequeno e médio porte. O modelo indiano ganhou destaque por sua simplicidade e funcionalidade (OLIVEIRA, 2004).

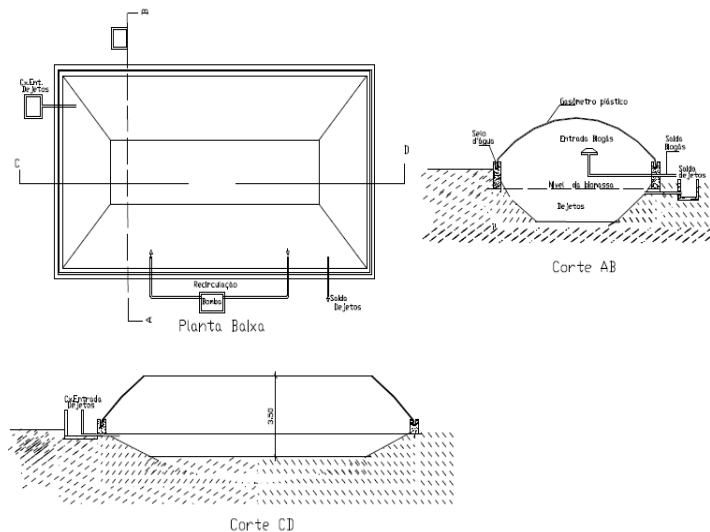
Figura 6: biodigestores do tipo chinês, filipino e indiano



Fonte: Morga (1983) apud Oliveira et al. (1993).

Um outro modelo que vem ganhando destaque é o biodigestor modelo lagoa anaeróbia coberta, pois apresenta baixo custo e facilidade de implantação. A lagoa anaeróbia coberta é uma unidade semelhante à esterqueira, onde o diferencial é a cobertura para captar e armazenar o biogás produzido pela anaerobiose. A cobertura da lagoa geralmente é constituída por com lona de PVC ou PEAD. Esse tipo de biodigestor é considerado um modelo contínuo, em que cada carga diária (afluente) corresponde a uma descarga de material digerido (efluente). A movimentação da biomassa no interior do biodigestor ocorre pela diferença de pressão hidráulica no momento da carga, que, quando aplicada, requer um tempo de detenção hidráulica entre 30 e 50 dias (OLIVEIRA, 2004).

Figura 7: Configurações biodigestor do tipo lagoa anaeróbia coberta



Fonte: Oliveira; Higarashi (2006).

O aproveitamento energético, através do biogás, do tratamento dos dejetos suínos não é a única vantagem da biodigestão anaeróbia, sendo outras também como: baixa produção de lodo, baixo custo de investimento e de operação, produção de biofertilizante e descentralização de tratamento de efluentes (POMPERMAYER; PAULA JR, apud Santos, 2001).

Em relação ao seu desempenho, Segundo Embrapa (2003), a remoção é da ordem de 50% de ST, 80% da DBO₅, 25% de N, 60% de P, 45% de K e de 99% de CF, a produção de biogás é da ordem de 0,25 a 0,60 m³/dia para cada m³ da câmara de digestão. Oliveira; Higarashi (2006) observaram em sua pesquisa uma remoção média na ordem de 57% de DQO, 69% de P, 50% de N total e produção de biogás entre 0,35 e 0,60 m³ por m³ de biomassa. Segundo Henn (2005), através de sua pesquisa com um biodigestor do tipo indiano, encontrou uma eficiência na ordem de 92,2% de DBO₅, 88,1% ST, 92,4% de SV, 70,4% de P, 92,1% de DQO e 46,6% de NTK.

Como dito por Seganfredo (2008) e reforçado por Oliveira; Higarashi (2006), os biodigestores fazem parte do tratamento dos dejetos, no entanto, não podem ser vistos como solução definitiva, pois

ainda há limitações quanto à eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes.

4.6.2 Tratamento Preliminar

4.6.2.1 Tanque de armazenamento

Tem como objetivo centralizar os dejetos de todas as edificações como a creche, maternidade, unidade de terminação entre outras (HENN, 2005).

4.6.2.2 Grades/Peneiras

Colocação de telas nas canaletas onde os dejetos passam, com o intuito de reter pelos, folhas e outros sólidos grosseiros tem efeito positivo no manejo e funcionamento do biodigestor (KUNZ, 2005). Outra opção é construir uma unidade de gradeamento para o pré-tratamento do efluente, antes do tanque de recepção.

Figura 8: telas nas canaletas de dejetos



Fonte: Kunz (2005).

A separação de sólidos por dimensões físicas, como diâmetro, tamanho e forma das partículas pode ser realizadas através também de peneiramento. O peneiramento é de extrema importância no tratamento de efluentes, pois evita o sobrecarregamento do sistema com muito sólido, facilitando o tratamento nas fases subsequentes (RAMMER; KUNZ, 2009).

Para pequenos sistemas de tratamento, recomenda-se o uso de peneiras estáticas, pois são mais baratas e de maior facilidade na retirada de sólidos manualmente, já que o tratamento é de pequena escala. Existem vários tamanhos de peneiras, diferenciando-se pelo diâmetro de porosidade e vazão de pico.

Figura 9: Peneira estática da Empresa Prominas.



Fonte: Prominas (2018).

Na Pesquisa de Kunz; Ramme (2009), onde foi analisada a utilização de peneiras na separação de fases sólido-líquido em dejetos suínos, foi constatado que a peneira de melhor eficiência foi a de 2,0 mm de abertura de malha, e que a melhor eficiência no peneiramento foi alcançada até no máximo de oito dias de armazenamento do dejetos

nas calhas. Sendo que é melhor que o dejetos seja transportado para o sistema de tratamento o quanto antes.

4.6.2.3 Caixa de passagem de entrada e saída

Utilizadas para inspeção, melhorando o manejo (AVESUY, 2013).

4.6.3 Dimensionamento biodigestor

4.6.3.1 Agitador

A utilização depende da necessidade de cada projeto, podendo ser utilizado para fazer o revolvimento da biomassa, no sentido de acelerar a degradação e aumentar a produção de biogás (KUNZ, 2005).

4.6.3.2 Tubulações

Devem ser previstas tubulações e conexões para o abastecimento e drenagem de lodo, transporte do efluente digerido e para o sistema de transporte e conversão do biogás. Serão utilizadas tubulações de 150mm, evitando problemas de entupimento.

4.6.3.3 Câmara de fermentação

Este componente pode ser revestido com alvenaria ou apenas a manta impermeável. O volume do biodigestor pode ser determinado através do TDH (tempo que o efluente deve permanecer no reator para se atingir a degradação esperada) e através da C_v que se deseja aplicar (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

A equação 6 apresenta a vazão total diária de dejetos suínos produzidos em unidade de ciclo completo.

$$Q = N \times q \quad (6)$$

Onde:

Q = vazão total diária de dejetos em unidade de CC (m³/d);

N= número total de matrizes;

q= volume de dejetos produzido por matriz (m³/d).

A Equação 7 apresenta o Volume determinado pelo TDH e Vazão diária (CHERNICHARO, 2007).

$$V = TDH \times Q \quad (7)$$

Onde:

TDH: Tempo de detenção hidráulico (dias);

V: volume útil do reator (m³); e,

Q: vazão (m³/d).

A Cv é definida como a quantidade de massa aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo (CHERNICHARO, 2007), conforme a Equação 8.

$$Cv = \frac{Q.Si}{V} \quad (8)$$

Onde:

Cv: carga orgânica volumétrica (kg/m³.d);

Q: vazão (m³/d);

Si: concentração de substrato afluente (kg/m³);

V: volume total do reator (m³).

Metcalf; Eddy (2003) recomendam que sejam aplicadas Cv entre 0,5 a 1,6 kg SV/m³.d para digestores de baixa carga. La Farge (1995) apud Dal Mago (2009), afirma que a Cv média aplicada em reatores de fluxo contínuo deve ser de 1,9 kg SV/m³.d. Dal Mago (2009) encontrou, em um sistema de criação de ciclo completo, valores de Cv de 0,39, 0,64 e 1,02 para verão, inverno e primavera, respectivamente. Já a FATMA (2014) situa a

alimentação, preferencialmente, entre 0,3 e 0,7 kgSV/(m³.dia), para regime em fluxo pistonado.

Figura 10: biodigestor após implantação de drenos de lodo, detalhe também para caixa de passagem.



Fonte: Avesuy (2013).

Na Equação 8 temos o cálculo de eficiência do tratamento

$$E(\%) = \left(\frac{S - S_i}{S} \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:

E: eficiência do tratamento (%);

S_i: concentração de substrato afluente (kg/m³);

S: concentração de substrato efluente (kg/m³).

No que se refere à altura útil do biodigestor, são encontrados os seguintes valores na literatura: 3,00 m para biodigestor (HENN, 2005); 4,00 m para digestor de lodo (ALVES, 2007); 3,00 a 5,00 m para lagoas anaeróbias (SILVA, 1977 apud OLIVEIRA et al., 2003)

e 1,00 a 1,50 m para biodigestor (OLIVER et al., 2008). A instrução normativa numero 11 da FATMA que estabelece os critérios para licenciamento de unidades de suinocultura, estabelece uma altura mínima de 2,5 m. Para os biodigestores de formato retangular, a proporção de comprimento:largura deve obedecer 2:1 ou 3:1 (FATMA,2014).

Figura 11: Detalhe do dejetos sob agitação (a), após fechamento do biodigestor (b), início da produção de biogás (c), e com gasômetro completamente cheio de biogás (d).

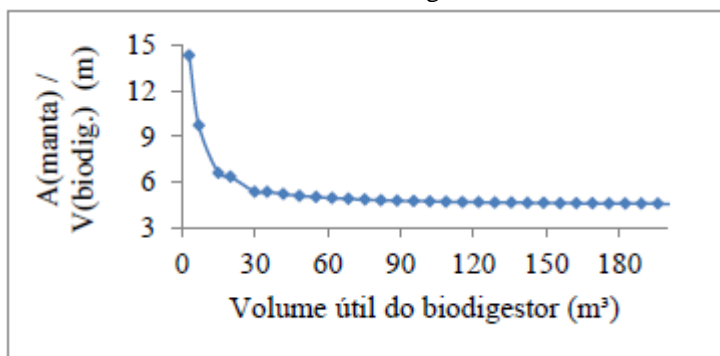


Fonte: Kunz (2005).

4.6.3.4 Campânula em manta de PVC ou PEAD

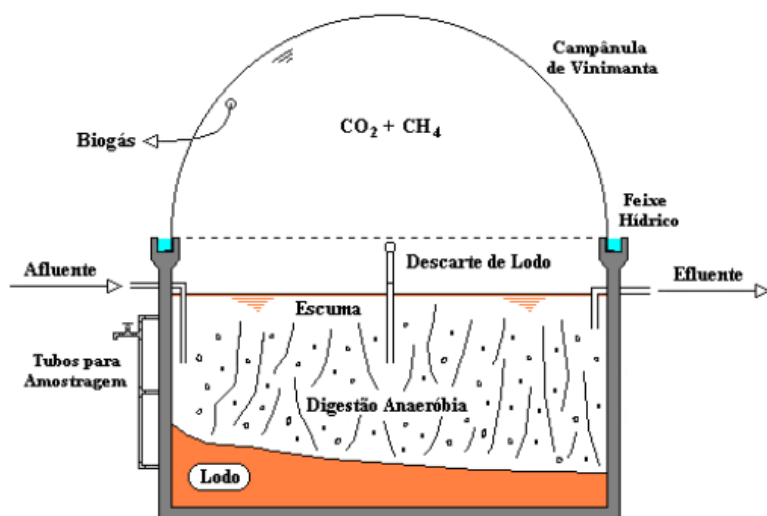
A manta de PVC ou PEAD que serve de gasômetro e cobre o biodigestor deve ter volume suficiente para armazenar o gás produzido sem que exerça pressão na manta. Ou seja, a área da manta depende do volume do biodigestor e da quantidade de biogás produzido (OLIVER et al., 2008).

Figura 12: Dimensionamento da área da manta a ser utilizada por volume de biodigestor



Fonte: Oliver et al. (2008).

Figura 13: Esquema de um biodigestor circular implantado em pequena propriedade



Fonte: Henn (2005).

4.6.3.5 Unidade de purificação e compressão do biogás e conjunto motor-gerador

Para retirar a umidade e o sulfeto de hidrogênio (H_2S) do biogás que são componentes prejudiciais na operação e eficiência do sistema de transmissão e utilização do biogás, é necessário uma unidade de remoção, como mostra a figura 14. Para remoção de umidade é utilizado um módulo com vários tubos concêntricos que permitem a condensação da água, já para remoção de H_2S é utilizado um filtro cilíndrico empacotado internamente com limalha de ferro finamente dividida. É recomendado também a instalação de um medidor de volume de gás e um compressor (KUNZ, 2005).

Figura 14: Unidade para purificação e compressão do biogás. A) Coletor de umidade; B) Filtro de H_2S ; C) Espuma; D) Totalizador de gás; E) Compressor de gás.



Fonte: Kunz (2005).

Para produção de energia é necessário um motor a biogás que forneça energia mecânica para o gerador que estará acoplado a ele e irá transformar a energia mecânica em energia elétrica, exemplo é demonstrado na figura 15. Muitos conjuntos motor-gerador adaptados a biogás já incluem o módulo de remoção de umidade e de H_2S (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Figura 15: Modelo economizador/gerador de energia elétrica com uso de biogás



Fonte: Oliveira; Higarashi (2006).

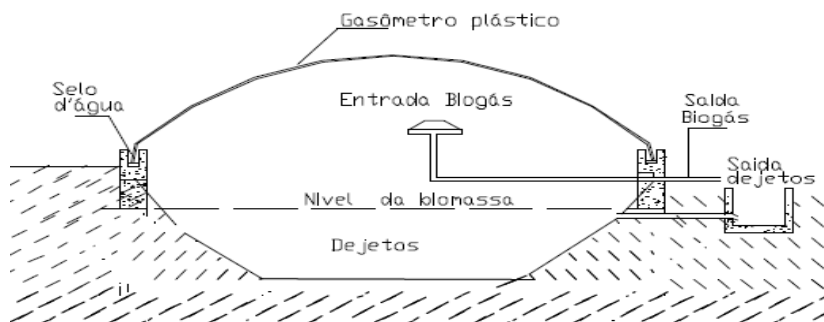
4.6.3.6 Cálculo de Conversão de biogás para energia elétrica

Para cálculo é necessário levar em consideração o valor calorífico inferior (PCI) do biogás em kWh/Nm³ dependendo da porcentagem de metano adotada, a quantidade de biogás produzida por dia ou mês e a eficiência de conversão do biogás em energia elétrica (levando em conta a eficiência do motor e do gerador) (TURNS, 2013; GUSMÃO, 2008).

4.6.3.7 Selo d'água e selo hídrico

O Selo d'água tem como função amarrar a lona e impedir a saída do biogás em toda extensão do biodigestor, como mostrado na Figura 16.

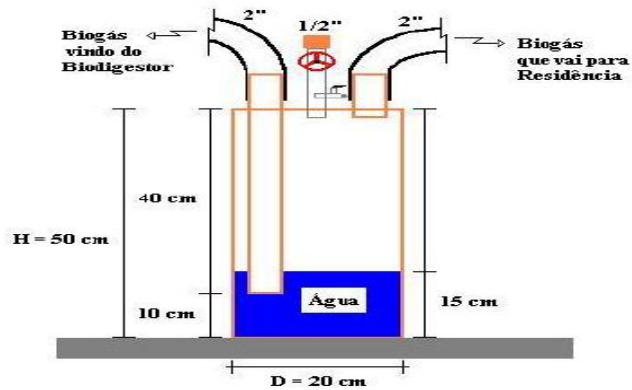
Figura 16 : detalhes de corte transversal de um biodigestor, demonstrando o selo d'água.



Fonte: Oliveira; Higarashi (2006).

Outro constituinte do biodigestor é o selo hídrico (SH). Localizado fora do biodigestor é um dispositivo que tem por objetivo impedir a saída do biogás da unidade, a menos que sua produção seja tal, que exerça uma pressão na água para que o mesmo seja expelido. Tal procedimento regula a pressão na qual o biogás é expelido. Quando o biogás sai, é captado por uma tubulação conectada em cima do SH conforme indicado na Figura 17.

Figura 17: selo hídrico do biodigestor analisado na pesquisa de Henn (2005).



Fonte: Henn (2005).

Figura 18: vista do biodigestor, gasômetro e selo hídrico



Fonte: Henn (2005).

4.7 Compostagem

A utilização de esterqueiras e lagoas para tratamento dos dejetos suínos e posterior uso do fertilizante agrícola, por vários anos, foi o principal sistema de manejo utilizado. No entanto, com o aumento da produção de suínos e aumento do volume de efluentes produzidos, as pequenas áreas agrícolas das granjas já não eram suficientes para disposição do fertilizante (OLIVEIRA et al., 2017).

Nesse contexto, era necessário o transporte do fertilizante a outras localidades, o que acaba inviabilizando o procedimento. Visto esta problemática, a Embrapa Suínos e Aves desenvolveu um sistema de tratamento através da compostagem adaptado para o Brasil, no ano de 2003, que tem como objetivo solucionar o problema de falta de áreas agrícolas para disposição de fertilizantes agrícolas e ainda produzir um composto sólido com maior valor econômico (OLIVEIRA et al., 2017).

4.7.1 Conceito e aspectos gerais

Segundo Mustin (1987), a compostagem é em conceito, a decomposição biológica da matéria orgânica sob condições controladas aeróbias. Muitos fatores afetam o processo de compostagem e estão todos inter-relacionado nesse processo ecológico complexo. Para Oliveira et al. (2017), compostagem é um processo aeróbio de decomposição biológica da matéria orgânica, com geração de calor e estabilização das substâncias orgânicas. No caso do manejo de dejetos suínos, ela consiste, resumidamente, na mistura dos dejetos a uma fonte de carbono, que pode ser serragem, maravalha ou palha, em leitos de compostagem desenvolvidos com esse objetivo.

O processo de compostagem é dividido em duas fases:

- Fase de Impregnação: forte atividade biológica acontece, aumento da temperatura da biomassa nas leiras. É também chamada de fase de incorporação, pois é quando os dejetos líquidos e resíduos sólidos misturam-se para obtenção de umidade e relação C/N ideal (OLIVEIRA et al., 2017).
- Fase de maturação: etapa final onde acontece a estabilização da biomassa. Temperatura diminui e taxas metabólicas caem. material das leiras torna-se estável, escuro, amorfo, com aspecto de húmus e um cheiro de

terra. Também chamada de fase de arrefecimento (OLIVEIRA et al., 2017).

Os materiais orgânicos são transformados completamente pelo trabalho intenso das bactérias, alterando as características físico-químicas da mistura que está sendo decomposta. Vários fatores importantes afetam a população microbiológica, tais como oxigênio, umidade, temperatura, nutrientes e pH (EPSTEIN, 1997).

Os principais fatores que afetam a decomposição de matéria orgânica por microrganismos são oxigênio e umidade. Outros também influenciam como pH e nutrientes. Os microrganismos necessitam dos mesmos micronutrientes que as plantas e competem pelos disponíveis (OLIVEIRA et. al, 2017)

Durante o processo o oxigênio é consumido e CO₂ e água são liberados. Além de CO₂, amônia e outros compostos voláteis são emitidos para a atmosfera. No entanto, em comparação com o CO₂ e H₂O, estes representam quantidades muito pequenas, Epstein (1997) representou o processo de compostagem aeróbia na seguinte equação química:



Atividade microbiana é alcançada através da ação das enzimas que são responsáveis pela hidrólise de macromoléculas complexas que constituem os resíduos orgânicos. Como consequência dessa atividade simples, compostos solúveis em água que suportam o crescimento microbiano são liberados, favorecendo a continuidade do processo. Além disso, à medida em que essa atividade enzimática é produzida dá informações sobre a taxa de decomposição da matéria orgânica e, portanto, sobre a estabilidade do produto (MONDINI et al., 2004).

4.7.2 Principais variáveis de controle do processo

4.7.2.1 Oxigênio, aeração e umidade

O oxigênio é indispensável no processo de compostagem, pois se trata de uma degradação biológica aeróbia. O fornecimento de Oxigênio é dado de três formas diferentes: revolvimento físico da massa, fluxo de ar por convecção e aeração mecânica.

Epstein (1997) através de sua pesquisa, constatou que o consumo de oxigênio foi maior em umidade de 56% do que em 85%. Isso indica uma maior atividade microbiana em teor de umidade mais baixo.

O espaço poroso do substrato da compostagem, somado ao revolvimento mecânico, permite que o ar se difunda através do meio e forneça oxigênio para os microrganismos. Para que o processo ocorra idealmente, é importante buscar-se o equilíbrio água-ar, o que é obtido mantendo-se o material em processamento com um teor de umidade da ordem de 55%. Umidades superiores a 60% levam à anaerobiose e inferiores a 40%, reduzem significativamente a atividade biológica (BIDONE; POVINELLI, 1999). Com umidade abaixo de 40%, a decomposição será aeróbia, mas lenta, predominando a ação de fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas (KIEHL, 1998). Oliveira et al (2017) indica que a umidade nas leiras não deve ultrapassar 70% para um bom manejo e funcionamento do sistema.

Para a otimização e aumento da velocidade da decomposição do material orgânico, a aeração é o principal mecanismo, além de evitar altas temperaturas e diminuir a produção de odores (GOULART, 1997; OLIVEIRA et al., 2017).

A necessidade de oxigênio no começo do processo é em torno de 5-15%. No final do tratamento, a temperatura diminui e a ação bacteriana também, sendo necessário uma concentração de 5% de oxigênio (SHARMA et al., 1997).

4.7.2.2 Temperatura

Para manutenção da temperatura elevada do composto, é essencial um bom manejo e controle da umidade. A temperatura das leiras deve se situar acima de 45°C, considerada ideal para início do processo de compostagem e eliminação dos patógenos, microrganismos e sementes de plantas daninhas que porventura possam estar presentes. O indicador mais importante que qualifica o processo como eficiente é a temperatura, pois ela resulta da produção do calor que surge da ação bacteriana na decomposição da matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2017).

4.7.2.3 Nutrientes e pH

O desenvolvimento e pluralidade da população microbiológica nas leiras da composteira estão diretamente relacionados com a

concentração de nutrientes, em especial carbono e nitrogênio (KIEHL, 2002).

As perdas de nitrogênio podem ser muito elevadas (cerca de 50%) durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos. Para relações C/N inferiores o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como amoníaco, causando odores desagradáveis. Para relações C/N mais elevadas, a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono não será todo degradado, não promovendo o aumento da temperatura e consequentemente a compostagem se processará mais lentamente (ANGNES, 2012).

Segundo pesquisa realizada por Angnes (2012), a relação C/N para dejetos suínos que ela analisou foi de 7 e para maravalha de 200. A relação C/N é parâmetro importante para o bom funcionamento da composteira, devendo estar por volta de 30.

No processo de compostagem aeróbia o pH se eleva na massa em biodegradação. Na etapa inicial o material produzido torna-se mais ácido (5 a 6), devido a presença de ácidos minerais e gás carbônico. Depois é a vez dos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e alcalinizando o meio, alcançando valores entre 8 e 8,5. Isto é devido a decomposição das proteínas, como também da eliminação do gás carbônico. Ou seja, compostagem conduz à formação de matéria orgânica húmica com reação alcalina (BIDONE; POVINELLI, 1999).

4.7.3 Dimensionamento de composteiras para tratamento de dejetos suínos

Oliveira et al (2017) recomendam que a unidade de tratamento de dejetos suínos por compostagem tenha no mínimo duas leiras, isso para que, durante uma semana, a biomassa de uma leira receba os dejetos diariamente e seja revolvida simultaneamente, e a outra seja apenas revolvida. Na próxima semana o processo é invertido em cada leira. O quadro 1 ilustra o método de manejo. Esse manejo cria condições aeróbias que aceleram o processo de compostagem e aumenta a temperatura da biomassa, com objetivo principal de evaporação do excesso de água.

Quadro 1: Modelo de manejo de aplicações de dejetos e revolvimento na biomassa das leiras de compostagem. x: aplicação de dejetos na biomassa. 0: revolvimento da leira.

Leira ↓	Aplicação dos dejetos de acordo com o cronograma, em semanas																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	o	o	o	o
2	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	o	o	o
	→ Aplicação dos dejetos →																	→ Maturação e troca de substrato →				

Fonte: Oliveira et al (2017).

A relação final de dejetos e substrato deve ser 10:1, ou seja, para cada 10 litros de dejetos líquidos são necessários 1kg de substrato(serragem, maravalha). A altura recomendada das leiras é entre 0,80 e 1,20, pois depende da máquina distribuidora utilizada na unidade, modelos de leiras de compostagem estão ilustrados na figura 19. Importante ressaltar que na primeira aplicação de dejetos, a relação massa da leira e litros de dejetos não pode ultrapassa 1:2,5 (OLIVEIRA et al., 2017).

Figura 19: unidades de compostagem para o tratamento dos dejetos suínos.



Fonte: Oliveira et al (2017).

As edificações de compostagem, como também os volumes das leiras, devem ser calculadas em função do número de suínos, volume de dejetos produzidos diariamente, massa de substrato e duração do processo (OLIVEIRA et al., 2017).

A aeração mecânica é muito importante para o bom funcionamento da composteira. Hoje em dia, existem no mercado muitos tipos de máquinas que promovem a distribuição e revolvimento da biomassa, na figura 20 temos um exemplo de máquina de revolvimentos e distribuição de dejetos suínos na composteira. As características das máquinas escolhidas influencia no dimensionamento da largura e profundidade das leiras. Os tipos principais de máquinas são de pás-rotativas e helicoides (OLIVEIRA et al., 2017).

Figura 20: máquina revolvendo a biomassa da leira



Fonte: Oliveira et al (2017).

Figura 21: máquina distribuindo dejetos na leira.



Fonte: Oliveira et al (2017).

4.7.4 Legislação referente a qualidade do composto

O decreto federal 86.955, de 18 de fevereiro de 1982 é a primeira regulamentação no Brasil para adubos orgânicos produzidos e comercializados no país. Em seguida a criação do decreto, portarias foram criadas para aprovar métodos padrões e oficiais para análise de fertilizantes, fixar especificações, garantias e tolerâncias dos produtos (ANGNES, 2012).

Em 2009, foi criada a Instrução Normativa número 25/2009 (BRASIL, 2009). A IN 25 tem como objetivo “Aprovar as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados a agricultura”. No artigo 2º é apresentada a classificação dos fertilizantes orgânicos em quatro classes, “[...] de acordo com as matérias primas utilizados na sua produção”, sendo:

Classe A - “Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos de agroindústrias, onde não sejam utilizados no processo metais pesados

tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura”.

Classe B - “Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos de agroindústrias, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura”.

Classe C - “Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura.”

Classe “D”- “Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura”.

Tabela 10: Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos classe B. Valores obtidos a partir da amostra seca a 65 C.

Parâmetros	Valores
Umidade (máx)	50%
N total (min)	0,5
C org (mín)	15
CTC	Conforme declarado
pH (mín)	6,0
Relação C/N (max)	20

Fonte: Instrução Normativa número 25 (2009).

A Instrução Normativa 27 de 5 de junho de 2006 estabelece, para os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, os limites referentes às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais tóxicos, pragas e ervas daninhas (BRASIL, 2006).

Tabela 11: Teores máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.

Contaminantes	mg/kg
Arsênio	20
Cádmio	3
Chumbo	150
Cromo	200
Mercúrio	1
Níquel	70
Selênio	80
Coliformes Termotolerantes - NMP/g de MS	1.000,00
Ovos viáveis de Helmintos N/ 4gST	1
Salmonella SP	Ausência em 10g deMS

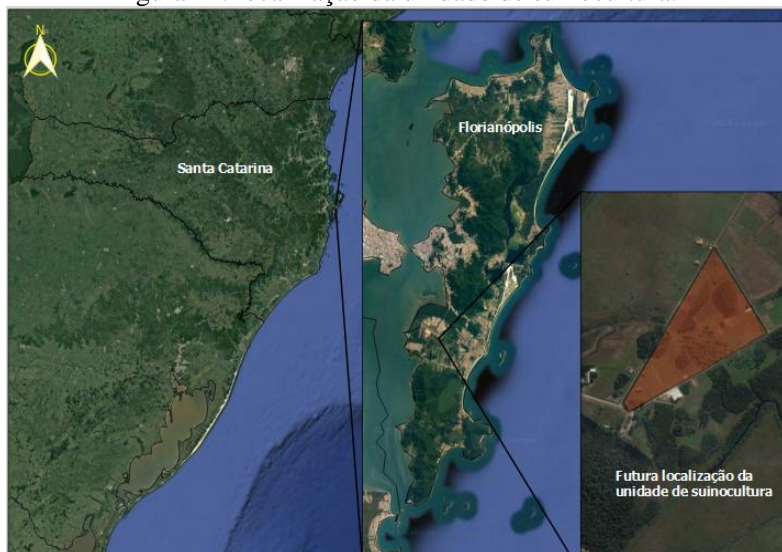
Fonte: Angnes (2012).

5 METODOLOGIA

5.1 Características do projeto

A unidade de suinocultura será instalada no centro da UFSC na Ressacada, na cidade de Florianópolis. Será uma unidade de ciclo completo, constituída de 60 matrizes e edificações de creche, maternidade, gestação e terminação. Possuirá uma edificação com escritório, refeitório, banheiros e depósito de ração e produtos diversos. Em anexo planta da unidade. Na figura 22 abaixo é ilustrado a localização da unidade.

Figura 22: localização da unidade de suinocultura.



Fonte: Próprio Autor (2018).

5.2 Dimensionamento do biodigestor

O dimensionamento do biodigestor foi realizado considerando o volume de dejetos produzidos em unidades de ciclo completo definidos pela Fundação do meio ambiente- FATMA na instrução Normativa número 11 de 2014. As características físico-químicas para os dejetos suínos foram adotadas a partir das bibliografias citadas anteriormente. Outros valores como: eficiência do biodigestor, TDH e Carga Orgânica

Volumétrica também foram adotados seguindo os mesmos critérios e estão todos listados nas Tabelas a baixo.

Tabela 12: Parâmetros utilizados no cálculo do dimensionamento do biodigestores

Parâmetro	Valor adotado	Referência
q - Volume diário de dejetos líquidos (L/matriz/dia) produzidos em sistemas de CC	47,1 L/matriz/dia	IN 11 - FATMA (2014)
TDH - tempo de detenção hidráulico	20 dias	IN 11 - FATMA (2014)
DQO - demanda química de oxigênio	70 g/L	Tavares (2016)
Cv - Carga orgânica Volumétrica	1,5 kg SV/m ³ .d	Metcalf; Eddy (2003)
N - Número de matrizes	60	Projeto da unidade

As equações utilizadas para o dimensionamento estão listadas abaixo.

Tabela 13: Equações utilizadas para dimensionamento do volume do biodigestor

Equação *	Localização na revisão bibliográfica	Referência
Q=N.q	Equação 6	-

$$V=TDH.Q$$

Equação 7

Chernicharo
(2007)

$$Cv=(Q.Si)/V$$

Equação 8

* Os parâmetros indicados em cada equação foram descritos na revisão bibliográfica.

Na tabela abaixo é demonstrado as características físico-químicas adotadas dos dejetos líquidos.

Tabela 14: características físico-químicas adotadas.

Característica físico-química do dejetos	Valor adotado	Referências
ST (g/L)	45	Henn (2005); Dal Mago (2009); Tavares (2016).
SV (g/L)	30	
DQO (g/L)	70	
Nt (g/L)	5	
Pt (g/L)	1	
Cu (mg/L)	30	
Zn (mg/L)	150	
pH	7,8	

Na tabela a seguir são listadas as eficiências para cada parâmetro do biodigestor que será dimensionado.

Tabela 15: eficiências do biodigestor adotadas

Parâmetro	Eficiência de remoção do biodigestor (%)	Referências
ST	60	Henn (2005); Embrapa (2003); Oliveira; Higarashi (2006).
SV	55	
DQO	75	
Nt	30	
Pt	50	
CF	99	

As dimensões do biodigestor serão determinadas respeitando as condições estabelecidas na Instrução Normativa número 11 da FATMA. A câmara de fermentação será retangular, com proporção de comprimento:largura de 2:1 ou 3:1 e profundidade superior ou igual a 2,5 metros.

5.3 Cálculo da produção potencial de metano e biogás

Serão utilizadas as Equações 3, 4 e 5, descritas na revisão bibliográfica, para calcular a produção potencial de metano no biodigestor. A porcentagem de metano adotada no biogás será de 70%, segundo Oliveira (2004).

Na tabela a seguir são listados os valores adotados para os cálculos e as referências utilizadas para determinação dos mesmos.

Tabela 16: Parâmetros adotados para cálculo de produção potencial de metano

Parâmetro	Valor adotado	Referência
TDH - Tempo de Detenção Hidráulico	20 dias	IN 11 FATMA (2014)
T - Temperatura	20 °C	INMET (2017)
E(%)sv - Eficiência de remoção de SV	55%	Henn (2005); Embrapa (2003); Oliveira; Higarashi (2006).
Bo - Taxa máxima de conversão de SV em	0,516 m ³ CH ₄ /kg.Sv	MØLLER (2004)

metano

Svo - concentração de Sólidos voláteis nos dejetos líquidos	30 g/L	Tavares(2016)
CH4/biogás - Proporção de metano no biogás gerado	0,7	Oliveira (2004)

Os resultados obtidos através das equações utilizadas serão relacionados aos resultados apresentados na literatura e serão também usados para calcular a produção potencial de energia elétrica.

5.3.1 Cálculo da produção potencial de energia elétrica a partir do biogás

Para o cálculo da produção potencial de energia elétrica será necessário definir o poder calorífico do biogás e convertê-lo a energia elétrica, considerando a eficiência do motor e gerador, como também a porcentagem de metano no biogás (SOUZA, 2016).

Para o cálculo utilizamos a equação a seguir.

$$Ppe = \frac{Vbp \times Pcb \times Rmt \times Rg}{Ckw} \quad (9)$$

Onde:

Ppe = Produção potencial de energia elétrica (kwh);

Vbp= volume de biogás produzido por dia (m³/dia);

Pcb = Poder calorífico do biogás (kcal/m³), considerando 70% de metano;

Rmt = rendimento do motor (%);

Rg = Rendimento do gerador (%);

Ckw = fator de conversão de kcal para kwh.

Na tabela abaixo estão listados os valores adotados e as referências.

Tabela 17: parâmetros adotados e referências para cálculo de produção de energia elétrica.

Parâmetro	Valor adotado	Referência
Pcb - Poder calorífico do biogás	5.588 kcal/m ³	NOGUEIRA (1992)
Rmt - Rendimento do motor	30%	De Souza (2016)
Rg - rendimento do gerador	90%	
Ckh - Fator de conversão de kcal para kwh	859	

5.4 Dimensionamento da unidade de compostagem

Será dimensionado um modelo de sistema de compostagem com aeração e revolvimento mecanizado, foi escolhido este modelo pois exige uma área menor de leiras, isto porque o espaço para o sistema de tratamento que dispomos é limitado.

5.4.1 Composteira com aeração mecanizada

Será utilizada como referência principal a Cartilha de dimensionamento de unidade de compostagem automatizada para tratamento dos dejetos suínos de Oliveira et al (2017), Projeto da Embrapa Suínos e Aves de Concórdia - SC.

O dimensionamento da edificação de compostagem será determinado em função do volume diário de dejetos e período que o processo de compostagem irá ocorrer.

$$Vt = Vd \times Pc \quad (10)$$

Onde:

Vt = volume total de dejetos (L);

vd = volume diário de dejetos (L);

Pc = período do processo de compostagem (120 dias).

Para o cálculo da quantidade de substrato ou volume total da leira, devemos considerar a relação dejetos:substrato de 10:1 e também o peso específico de 1 m³ de substrato utilizado, que será a serragem/maravalha e possui como peso específico médio de 200 kg para cada 1 m³.

$$Vtl = \frac{\left(\frac{Vt}{10}\right)}{Pes} \quad (11)$$

Onde:

Vtl = volume total da leira (m³);

Vt = volume total de dejetos em 120 dias (m³);

Pes = Peso específico do substrato (kg).

O comprimento da leira será calculado utilizando a equação a seguir.

$$C = \frac{Vtl}{(A \times L)} \quad (12)$$

Onde:

C = comprimento da leira (metros);

Vtl = volume total da leira calculado pela equação 11;

A = altura da leira (1,10 metros);

L= largura das leiras (12 metros, 3 metros cada uma).

A distribuição diária de dejetos suínos da leira de compostagem será calculada em função do volume diário, e do tempo de percurso da máquina, segundo a equação 13.

$$X = \frac{Vd}{Tp} \quad (13)$$

Onde:

X = distribuição de dejetos nas leira (L/min);

Vd = volume diário de dejetos (L);

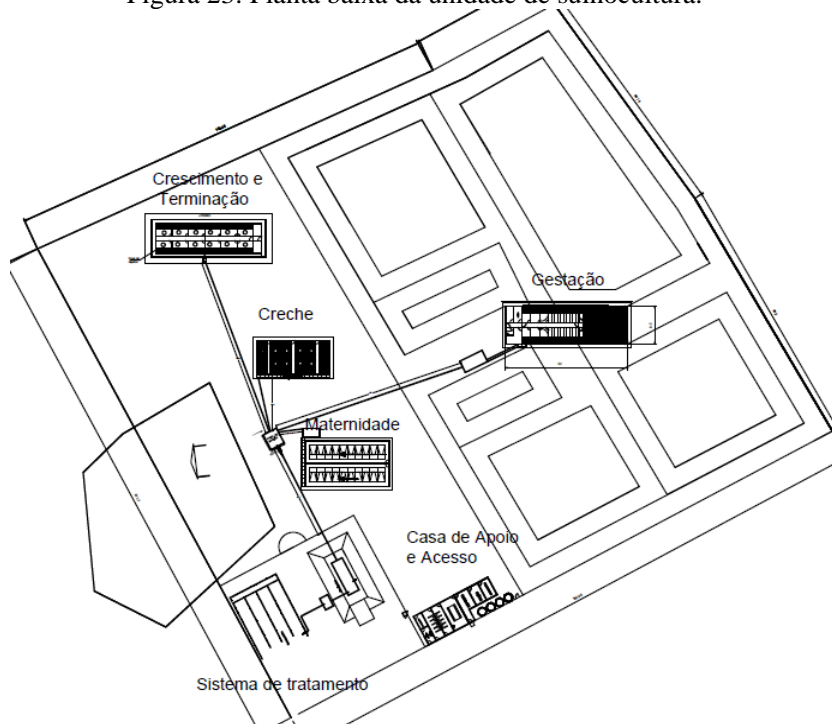
Tp = tempo total de percurso (min), que dependerá da velocidade da máquina e do comprimento da leira.

6 RESULTADOS

6.1 Transporte dos dejetos suínos até o sistema de tratamento

Cada edificação (creche, terminação, gestação e maternidade) terá um tanque onde os dejetos serão armazenados por 4 dias. Após isso o dejetos será direcionado através de canaletas para uma caixa de passagem que cada unidade possui, onde será transportado por gravidade, a cada 4 dias, para o tanque de armazenamento localizado entre a maternidade e a creche. Finalmente, a estação elevatória do tanque de armazenamento bombeará, diariamente, os dejetos suínos para o biodigestor. Na planta em anexo e na figura abaixo é possível ver o detalhe deste transporte.

Figura 23: Planta baixa da unidade de suinocultura.



Fonte: Próprio Autor (2018).

6.2 Dimensionamento do biodigestor

O volume diário de dejetos suínos produzidos será de:

$$Q = 60 \times 47,1$$

$$Q = 2826 \text{ litros/dia}$$

ou

$$Q = 2,826 \text{ m}^3/\text{dia}$$

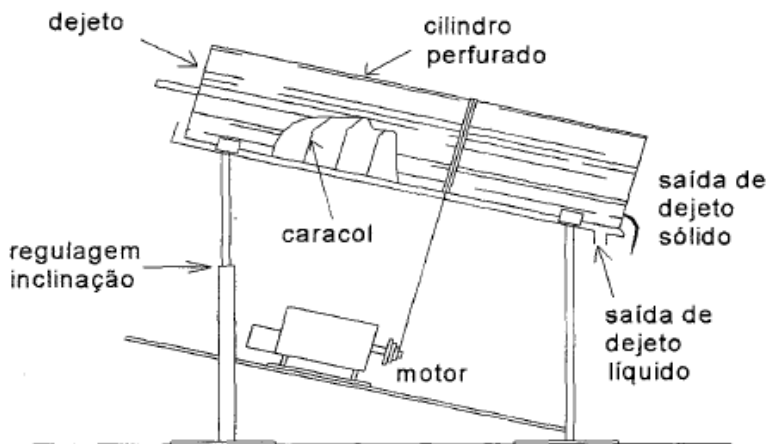
O valor definido para projeto será de 3m³ de dejetos suínos produzidos por dia na unidade.

6.2.1 Peneiramento e Gradeamento

Na canaleta de transporte dos dejetos suínos de cada edificação serão instaladas grades de tela moeda com 15 mm de abertura para retenção de sólidos grosseiros e uma peneira após o tanque de armazenamento. A limpeza das grades e peneiras será manual, ocorrendo a cada 2 dias, dependendo da quantidade de sólidos retidos pelas unidades de retenção. As grades terão aberturas de 15 mm e as peneiras aberturas de 2mm.

O modelo de Peneira utilizado será do tipo rotativa cilíndrica descrito por Merkel (1981), sendo rotacionada pelo trabalho de um motor elétrico, mostrado na figura 22.

Figura 24: Peneira rotativa descrita por Merkel



Fonte: Veiga (1999).

Foram propostos dois locais para instalação da peneira: um antes do tanque de armazenamento, que além de reter os sólidos mais finos, protegeria a primeira estação elevatória do sistema, no entanto a topografia da área onde a unidade será implantada possui pouquíssima inclinação, sendo o terreno praticamente plano. Ou seja, esta locação pode acarretar problemas no funcionamento do sistema, caso não tem pressão suficiente para o transporte do dejetos, por gravidade, dos galpões até o tanque de armazenamento. A segunda locação é após o tanque de armazenamento e primeira estação aleatória. Isto resolveria o problemas de pressão, sendo que os dejetos chegariam com boa altura manométrica na unidade de retenção de sólidos, no entanto deixaria a primeira EE mais vulnerável a possíveis entupimentos ou deteriorizações advindas do transporte de sólidos mais grosseiros. Neste caso, é necessário a escolha de uma bomba potente e que tenha algum dispositivo de proteção contra estes perigos.

6.2.2 Tanque de recepção/armazenamento

Possui uma volume diário de 3 m³ de dejetos e a cada 4 dias de 12 m³. Estes dejetos serão bombeados uma vez a cada 4 dias para o

tanque de armazenamento. O Tanque terá 3,5 metros de comprimento, 3,5 metros de largura e 1 metro de altura, totalizando um volume de 12,25m³. O tanque será construído em concreto, sendo feita a vedação adequada em toda a superfície interior.

6.2.3 Câmara de fermentação

Volume do biodigestor:

$$V = 20 \times 3$$

$$V = 60m^3$$

Para projeto, foi adotado um volume útil do biodigestor de 60,0 m³.

Dimensões: Comprimento = 8 metros; Largura = 3 metros; Altura útil = 2,5 metros e altura total = 3,0 metros.

Tabela 18: Dimensões do Biodigestor

Dimensões biodigestor	
Volume	60,0 m ³
Comprimento	8 m
Largura	3 m
Altura total	3 m
Altura útil	2,5 m

Fonte: Próprio Autor (2018)

No local de instalação do biodigestor, o lençol freático tem uma altura de 0,5 metros. Será então realizado um aterro de 2 metros para construção do biodigestor. Detalhes estão demonstrados na planta baixa e corte anexados no final do trabalho.

6.2.3.1 Tubulações para descarte e análise de lodo

A retirada do lodo será feita por uma mangueira de 200mm, servindo também para o esgotamento do reator. A retirada será feita por caminhão limpa fossa ou máquina agrícola de sucção.

6.2.4 Gasômetro

Terá uma altura de 2 metros, será feito em manta flexível de PVC de 1mm, fixa sobre uma valeta coberta de água que circunda a base, chamado de selo d'água.

6.2.5 Tanque de reservação/passagem

Este módulo servirá de reservatório para o efluente do biodigestor, que logo em seguida será bombeado para o sistema de compostagem. O tanque terá volume de 6,6 m³ e formato retangular, com 2,00 metros de largura, 3,0 metros de comprimento e 1,5 metros de altura total e 1,1 de altura útil.

6.2.6 Tubulações

As tubulações utilizadas para transporte de dejetos líquidos serão de PVC e terão 150 mm de diâmetro. Para descarte e transporte de lodo, serão tubulações de 200mm. Para transporte do biogás serão utilizadas mangueiras flexíveis de PVC de 50mm. Considerando recomendações da NBR 12209.

6.2.7 Queimador do tipo flare

É necessário prever a obtenção de um flare para casos adversos onde não há o aproveitamento do biogás por casos diversos. O sistema de queima do biogás é constituído de uma mangueira de PVC maleável, com uma válvula de alívio de pressão no gasômetro, medidor de vazão, e o queimador que tem alturas variando de 4 a 6 metros ficará ao nível do solo a uma distância mínima de 30 metros do biodigestor, considerando recomendações da NBR 12209. Na figura 23 abaixo, segue um modelo de flare.

Figura 25: modelo de flare



Fonte : Combustec - Industria e Comércio de Queimadores Ltda (2018).

6.3 Produção potencial de metano (CH_4) e biogás

Utilizando as Equações 3, 4, 5 e o parâmetros adotados, encontramos os seguintes resultados:

$$P = \left(\frac{0,516 \times 30}{20} \right) \times \left[1 - \left(\frac{0,51985819}{20 \times 0,131 - 1 + 0,51985819} \right) \right]$$

$$k = 0,5 + 0,0043 \times e^{0,051 \times 30}$$

$$\mu m = 0,013 \times 20 - 0,129$$

$$k = 0,51985816;$$

$$\mu m = 0,131 \, d^{-1};$$

$P = 0,58 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{m}^3 \text{ de câmara / dia.}$

Valor de acordo ao encontrado por Oliveira & Higarashi (2006), que constataram que a produção de biogás varia de $0,25 \text{ m}^3$ - $0,65 \text{ m}^3$ por m^3 de biodigestor por dia.

Para um volume de 60 m^3 de câmara de fermentação, teremos uma produção de $34,8 \text{ m}^3$ de CH_4 diária.

Considerando que o biogás possui 70% de metano, teremos uma produção diária aproximada de $49,7 \text{ m}^3$ de biogás.

6.3.1 Produção de biogás por kg de Sólidos Voláteis removido

Considerando a eficiência do biodigestor de 55 % em remoção de SV, serão removidos $49,5 \text{ kg SV}$ por dia. Com isso temos uma produção de $1,01 \text{ m}^3$ de biogás por kg SV removido.

O valor obtido esta de acordo com valores de $0,72$ a $1,0 \text{ m}^3$ biogás/kg SV removido encontrados por Malina; Phland Jr. (1992). Comparando com valores encontrados por Metcalf; Eddy (2003) que variam de $0,75$ a $1,12 \text{ m}^3$ biogás/kg SV remov, os valores obtidos também estão de acordo. Os valores coincidem com de Gusmão (2008), que obteve um valor de $0,67 \pm 0,42 \text{ m}^3$ Biogás/ kg SV removido (média \pm desvio padrão). Os valores da pesquisa de La Farge (1995) apud Dal Mago (2009) de $0,45 \text{ m}^3/\text{kg SV}$ removido ficaram abaixo dos encontrados pela presente pesquisa.

6.3.2 Produção potencial de energia elétrica

$$Ppe = \frac{49,7 \times 5.588 \times 0,30 \times 0,90}{859}$$

Considerando o volume calculado de produção diária de biogás de $49,7 \text{ m}^3$, teremos uma produção potencial de energia elétrica de $87,3 \text{ kWh}$.

6.3.3 Sistema de filtração e aproveitamento do biogás.

Um sistema de filtração do biogás é essencial para obtenção de um biogás com maior qualidade e também é necessário para proteção das unidades do sistema da corrosão gerada pelo gás H_2S .

Para aproveitamento do biogás deve-se ter um sistema de filtragem de H_2S e retirada da umidade, compressor de gás, medidor de gás, mangueiras e acessórios. Com isso é possível acoplar um gerador de energia elétrica no sistema, ou utilizar utensílios a biogás como por exemplo: campânulas para uso de biogás para aquecimento da creche; fogões a biogás, chuveiros, lâmpadas entre outros. Na figura 24 a seguir temos um modelo de sistema de filtração de biogás.

Figura 26: sistema de filtragem do H_2S , medidor de volume e compressor de biogás



Fonte: Oliveira; Higarashi (2006).

6.4 Dimensionamento do Sistema de compostagem com aeração mecanizada.

$$Vt = 3000 L \times 120 \text{ dias}$$

$$Vt = 360.000 L$$

Será utilizado serragem/maravalha como substrato da leira, que tem como peso específico 200kg/m^3 . Volume total da leira:

$$Vtl = \frac{\left(\frac{360000}{10}\right)}{200}$$

$$Vtl = 180 m^3$$

Ou seja, será necessário um volume de $180 m^3$ de leira na unidade de compostagem, para o tratamento do efluente do biodigestor. Este volume será dividido em quatro leiras iguais por motivos de manejo.

Comprimento das leiras será de:

$$C = \frac{180}{(1,10 \times 12)}$$

$$C = 13,63 \text{ metros}$$

Para projeto será definido um comprimento de 14 metros.

Adiciona-se mais 1,5 metros em cada extremidade das leiras, pois é a área de escape da máquina de revolvimento e área necessária coberta pelo ângulo de estabilidade lateral do substrato da leira. Totalizando 17 metros de comprimento.

Distribuição diária do efluente do biodigestor nas leiras de compostagem. Considerando a velocidade da máquina de compostagem de 2 metro/min, ela irá percorrer toda a leira em 7 minutos

$$X = \frac{3000l}{7min}$$

$$X = 428,6 \text{ L/min}$$

No caso da máquina ter 7 saídas, então, calculamos a vazão de cada saída.

$$V_z = X \div Y$$

$$V_z = 428,6 \div 7$$

$$V_z = 61,3 \text{ L/min}$$

para projeto: $V_z = 62 \text{ L/min}$ em cada saída de distribuição da máquina

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O manejo adequado de efluentes com alta carga poluidora e grande chance de contaminação é essencial para o equilíbrio sustentável da produção de suínos hoje no Brasil e no mundo. Essas técnicas de manejo devem ser valorizadas, pois além de resolver um problema de contaminação ambiental, acabam acarretando benefícios econômicos, como o ganho pela venda de composto orgânico ou menor compra de fertilizantes químicos, como também menor conta de luz em virtude da utilização do biogás produzido no biodigestor.

A proposta de manejo de efluentes da unidade de suinocultura da Ressacada mostrou a concepção de um sistema que diminui extremamente a chance de contaminação de solo e água, e ainda cumpre com as exigências legais determinadas pela FATMA para operação de unidade de suinocultura no estado de Santa Catarina. O objetivo da Universidade Federal de Santa Catarina em instalar uma unidade de suinocultura que seja modelo de sustentabilidade nacional é muito importante e um avanço enorme em direção a diminuição da contaminação de rios, solos e do aquecimento global.

A unidade possuirá, no auge da produção, 60 matrizes, o que produzirá aproximadamente 3m³ de dejetos diários. O pré- tratamento começara nas canaletas de cada galpão, com a instalação de grades para reter sólidos maiores que 15mm. Após o tanque de armazenamento e primeira estação elevatória, haverá uma peneira cilíndrica rotativa para retenção de sólidos de no mínimo 2mm. Logo em seguida os efluentes vão para o biodigestor de 60m³ de volume e permanecem por 20 dias na camará de fermentação. Por fim, o efluente do biodigestor vai para um tanque de saída, de onde é bombeado para a máquina de revolvimento e distribuição de dejetos da composteira, sendo assim finalizado o ciclo de tratamento com a produção de composto orgânico para utilização na agricultura. O sistema possui regime intermitente, sendo o biodigestor e a composteira alimentados diariamente com 3 m³ de efluente.

Projetos como este devem ser incentivados pelo governo federal e estadual, criando oportunidades para que universidades e instituições de pesquisas aprimorem seus conhecimentos sobre esta área, trazendo novas ideias, soluções de problemas, desenvolvimento de manejos mais baratos e simples, interesse da população e entre outros benefícios.

Investimento em estrutura de saneamento básico e proteção ambiental é fundamental para o crescimento e desenvolvimento de uma nação.

As recomendações aqui apresentadas servem como sugestões para trabalhos futuros, dando continuidade ao projeto da unidade, sua instalação, manejo e monitoramento:

- ✓ Projeto de instalação do sistema, alinhando todos os projetos já realizados;
- ✓ Obter a licença ambiental;
- ✓ Realizar o monitoramento contínuo do sistema, observando limitações e definindo melhorias;
- ✓ Realizar a análise das características físico-químicas dos dejetos suínos da unidade;
- ✓ Analisar a eficiência de cada unidade e do sistema completo, identificando a porcentagem de degradação dos parâmetros químicos e físicos do dejetos;
- ✓ Monitorar a produção de biogás e sua utilização na propriedade;
- ✓ Procurar por parcerias entre outras universidades e também com instituições de pesquisa como a EMBRAPA, assim criando programas de estudos utilizando a unidade da Ressacada como campo de experimentos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. G. C. M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processo anaeróbio – operação e avaliação de diversos reatores em escala real.** 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ANDRADE, M. A. N.; NINO R.; RANZI, T. J. **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, Campinas, **Anais...**, Edit. AGRENER, 2002.

AVESUY. Comunicação pessoal, 2013-2018.

ANDREADAKIS, A. D. **Anaerobic Digestion of Piggery Wastes.** Wat. Sci. Tech., 1992, v.2, jn.1, p.9-16.

ANGNES, G. **Emissão de gases de efeito estufa e NH durante a fase 3 de absorção do processo de compostagem de dejetos suínos.** 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis.

BELLI FILHO, P. et al. Tecnologias para o tratamento de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB**, v. 5, n. 1, p. 166-170, 2001.

BELLI FILHO, P. **Stockage et odeurs des dejections animales cas du lisierdeporc.** Thèse. Université de Rennes, U.F.R. École Nationale Supérieure de Chimie. Rennes, France. 1995. 181p.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos**. MAPA. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo - Brasília: MAPA, 2016.

BRASIL. Decreto n. 86.955, de 18 de fev. de 1982. **Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura**. Diário oficial da União, Brasília, DF, 24 de fev. 1982. p 3241.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 25, de 23 jul. de 2009. **Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes para serem produzidos, importados ou comercializados**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de Jul. 2009.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016. **Pesquisa Pecuária Municipal - PPM**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>>. Acesso em 15 de Março de 2018.

CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - CCE- **Guia Técnico de Biogás**. ADENE – Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 106 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, 379 p., 2007.

CHEN, Y. R. **Terminal properties of beef cattle manure.** Agric. Wastes, v. 6, 13, 1983.

COHEN, T (1982) **Optimization of anaerobic digestion of soluble carbohydrate containing wastewater by phase separation.** Amsterdam, 83p.

DAL MAGO, A. **Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos em Braço do Norte e em Concórdia.** 152 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de dejetos de suínos.** In: Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão - EMATER/RS. BIPERS nº 11, ano 7. Concórdia. 1998. 32 p.

DE SOUZA, S. N. M. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2016.

INÁCIO C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

EMBRAPA, CNPSA. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos** – Manual de boas práticas. PNMA II – Gestão Integrada de ativos ambientais, 109 p. Concórdia, Santa Catarina, 2004.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Diagnóstico das propriedades suinícolas da região de abrangência do consorcio Lambari, SC:**

relatório preliminar. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 33p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 84).

EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. Pennsylvania: Technomic Publishing, 1997. p. 493.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n.º 11, de 2014. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acesso: 10 de Março de 2018.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n.º 37, de 2008. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acesso: 05 de Março de 2018

GOSMANN, H. A. **Estudos Comparativos com Bioesterqueira e Esterqueira para o Armazenamento e Valorização dos Dejetos de Suínos**. Florianópolis/SC, 1997. Dissertação de Mestrado. UFSC. 126p.

GOULART, R. M. **Processo de compostagem: alternativa complementar para tratamento de camas biológicas de dejetos de suínos**. 1997. Dissertação de mestrado (mestrado em engenharia ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, Florianópolis, SC.

GUSMÃO, M. M. F.; C. de C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 170 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

HEINRICH BÖLL FOUNDATION. **Atlas da carne: fatos e números sobre os animais que comemos**. Rio de Janeiro, 68 p, 2016. Disponível em: < http://actbr.org.br/uploads/arquivo/1123_atlasdacarne.pdf>. Acesso em 24 de junho de 2018.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condições de partida.** 157 p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

HOHLFELD, J. & SASSE, L. **Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries.** Publi. by Dt. Ges. für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Transl. by James und Gisela Lorenz. Federal Republic of Germany. 1986.

KIEHL, E. J. 1998. **Manual de compostagem.** Piracicaba: Editor Ceres.

KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejos em forma líquida.** Belo Horizonte – MG, 1980. UFMG. Dissertação de Mestrado.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. de. **Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

KUNZ, A.; RAMME, M. A. **A utilização de peneiras na separação de fases sólido-líquido em dejetos suínos.** Ágora: Revista de divulgação científica, Mafra, v. 16, n. 2, 2009.

LA FARGE, B. **Le biogaz: Procédés de fermentation méthanique.** Paris: Masson, 237 p., 1995.

LAGRANGE, B. **Biométhane.** Tome 2: Principes, Techniques, Utilizations. EDISUD/Energies alternatives, Aix en Provence. 1979.

MALINA JR, J. F.; POHLAND, F. G. **Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes**. Vol. 7. Water Quality Management Library. USA, 1992. 214 p.

MASSOTTI, Z. **Viabilidade Técnica e economia do biogás a nível de propriedade**. In: Curso de capacitação em práticas sustentáveis. Treinamentos 2002. PNMA II, Embrapa Suínos e Aves. Concórdia. p. 102 – 108. 2002.

MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes**. Westport, Connecticut: Avi Publishing Company Inc., p. 162 - 185. 420 p, 1981

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2003

MONTEIRO, L. W. S. **Avaliação do desempenho de dois sistemas em escala real para o manejo de dejetos suínos: lagoa armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa de armazenamento**. 146p. Dissertação- Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MUSTIN, M. **Le compost: Gestion de la matière organique**. F. Dubusc. 1987.

MONDINI, C.; FORNASIER, F.; SINICCO, T. **Enzymatic Activity as a parameter for the characterization of the composting process**. Soil Biol. Biochem., n.36, p.1587-1594, 2004.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. **Methane productivity of manure, straw and fractions of manure**. Biomass and Bioenergy, v. 26, p. 285-495, 2004.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granjas de suínos: implemento de aplicativo**

computacional. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética.** São Paulo, Ed. Nobel, 1986.94p.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos** – manual de boas praticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.

OLIVEIRA, P. A. V., HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização do biogás em unidades de produção de suínos.** Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II; Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia, 2006. 41 p.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. Documento, 27. 188p.

OLIVEIRA, P. A. V; BARROS, E. C; SANTOS FILHO, J. I; SCHELL, D. R; TURMINA, L. P. **Dimensionamento de unidade de compostagem automatizada para tratamento dos dejetos suínos** - 2 ed. Concórdia : Embrapa Suínos e Aves, 2017.

OLIVER, A. P. M; SOUZA NETO, A. A; QUADROS, D. G; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão** – Winrock International Brasil, 23 p., 2008.

PALHARES, J. C. P.; CALIJURI, M. C. **Caracterização dos afluentes e efluentes suínolas em sistemas de crescimento/terminação e qualificação de seu impacto ambiental.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 502-509, 2007.

PIRES, G. S. P. **Tratamento de dejetos de suínos em meio anaeróbio e meio com aeração intermitente.** Florianópolis – SC, 1999. UFSC. Dissertação de Mestrado. 73p.

RAMMER, M. A.; KUNZ, A. **A utilização de peneiras na separação de fases sólido-líquido em dejetos suínos.** Ágora: R. Divulg. Cient., ISSN 2237-9010, Mafra, v. 16, n. 2, 2009

SANTOS, T. M. B. **Balço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte.** 2001. 167 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SEGANFREDO, M. A. **A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizantes do solo.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 35 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 22).

SHARMA, B.; AHLERT, R. **Nitrification and nitrogen removal.** Water Research, v.11, p.879-925. 1977.

SILVA, F. C. M. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada.** Florianópolis – SC, 1996. UFSC. Dissertação de Mestrado. 115p.

TAVARES, J. M. R. **Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura.** 232 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

TAVARES, J. M. R. **Modelagem do consumo de água, produção de dejetos e emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura.** 229 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

TAVARES, J. M. R.; OLIVEIRA, P. A. V. ; BELLI FILHO, P. **Sustentabilidade da suinocultura – Reduções de consumo de água e de dejetos na produção animal.** In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15., 2012, Belo Horizonte, MG. **Anais eletrônicos ...** Rio de Janeiro, 2012. 10p.

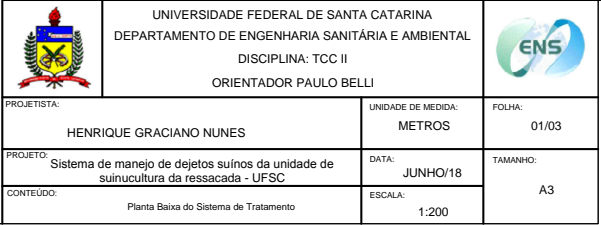
TURNES, S. R. **Introdução à combustão: conceitos e aplicações.** Tradução: Amir Antônio Martins de Oliveira Júnior. 3a Ed. AMGH editora. Porto Alegre, 2013.

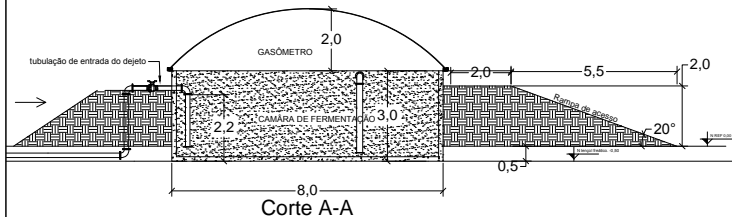
UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign agricultural service. Livestock and poultry: world markets and trade. Competition tightens among key beef exporters in 2018. 2018, 28p..Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 20 de Março de 2018.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos.** Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande – PB, 1994. Ed. epgraf.

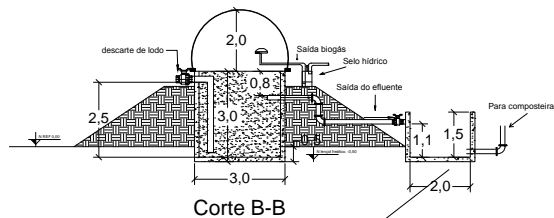
VEIGA, S. N.; **Desenvolvimento de um protótipo de um separador de sólidos de dejetos animais, destinado à pequena propriedade rural.** 253 p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do Meio Oeste Catarinense.** 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.

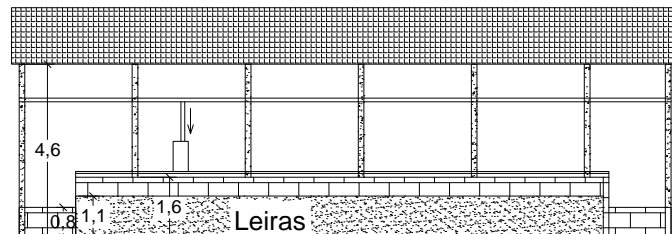




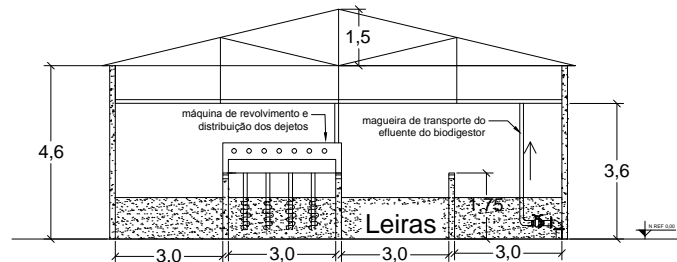
Escala 1:125





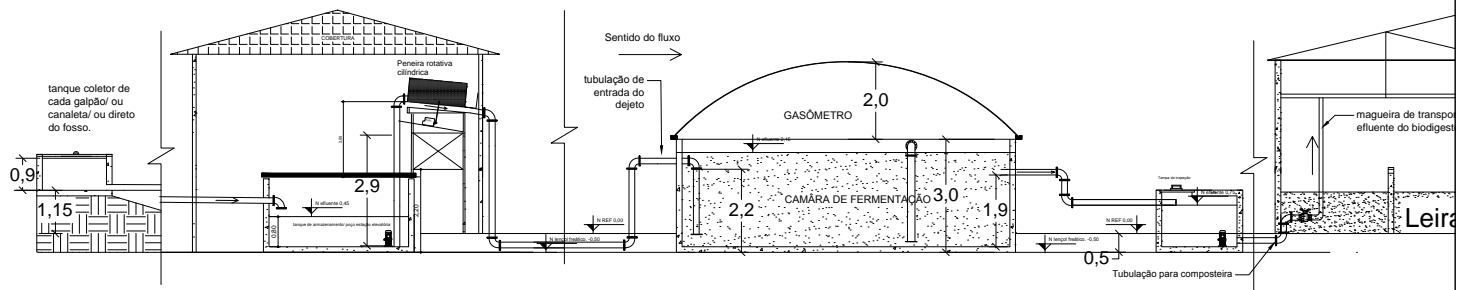
caixa de saída/reservação



Escala 1:100

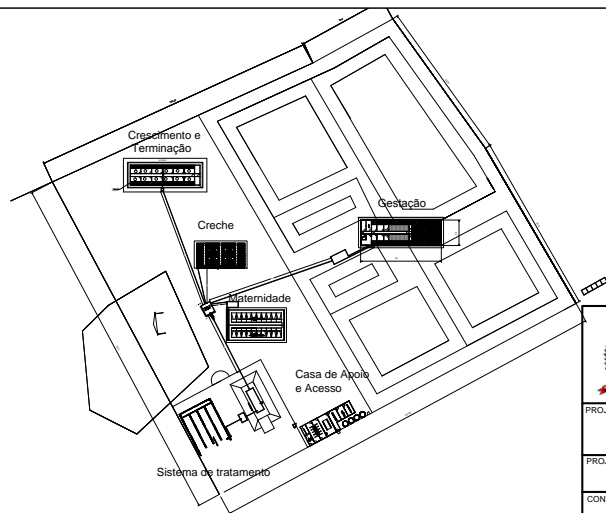


	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DISCIPLINA: TCC II ORIENTADOR PAULO BELLI		
PROJETO: HENRIQUE GRACIANO NUNES	UNIDADE DE MEDIDA: METROS	FOLHA: 02/03	
PROJETO: Sistema de manejo de dejetos suínos da unidade de suinocultura da ressacada - UFSC	DATA: JUNHO/18	TAMBÃO: A3	
CONTEÚDO: Cortes	ESCALA: INDICADA		



PERFIL HIDRÁULICO

Escala 1:100



Escala
1:1400



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
DISCIPLINA: TCC II
ORIENTADOR PAULO BELLI



PROJETISTA:	HENRIQUE GRACIANO NUNES	UNIDADE DE MEDIDA:	METROS	FOLHA:	03/03
PROJETO:	Sistema de manejo de dejetos suínos da unidade de suinocultura da ressacada - UFSC	DATA:	JUNHO/18	TAMANHO:	A3
CONTEÚDO:	PERFIL HIDRÁULICO E LOCAÇÃO	ESCALA:	INDICADA		

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso
em Engenharia Sanitária e
Ambiental - TCC II

Orientador: Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

Coorientador: Sebastião Ferreira Magagnin, Ms.

FLORIANÓPOLIS, 2018

